

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma / tietoverkkotekniikka

Teemu Ravantti

IP-POHJAINEN KUULUTUSJÄRJESTELMÄ

Opinnäytetyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikka

RAVANTTI, TEEMU	IP-pohjainen kuulusjärjestelmä
Opinnäytetyö	45 sivua
Työn ohjaaja	yliopettaja Martti Kettunen
Toimeksiantaja	Kymenlaakson ammattikorkeakoulu
Toukokuu 2012	
Avainsanat	VoIP, tiedotus, trixbox, barix, SIP

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin VoIP-tekniikkaan perustuvan kuulusjärjestelmän toteuttamista. Voice over IP (VoIP) eli IP-puhe tarkoittaa kokonaan tai osittain IP-pohjaisissa verkoissa tapahtuvaa reaaliaikaista puheen tai äänen siirtoa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa toimiva IP-pohjainen kuulusjärjestelmä ja tutkia mahdollisuutta IP-puhelimien liittämiseksi osaksi järjestelmää. IP-puhelin toimisi järjestelmässä tiedottajan roolissa ja samalla mahdollistaisi järjestelmään kaksisuuntaisen puheyhteyden. Kuulusjärjestelmästä rakennettiin testijärjestelmä Kymenlaakson ammattikorkeakoulun Metsolan toimipisteen tietoliikennelaboratorioon.

Työn teoriaosassa käydään läpi VoIP-tekniikan käyttämät kuljetus- ja merkinantoprotokollat sekä tekniikan edut ja ongelmat. Lisäksi työssä käsitellään lyhyesti PoE-tekniikka, jonka avulla käyttöjännite voidaan syöttää kytkimen portista parikaapelia pitkin kuulusjärjestelmän päätelaitteille. Opinnäytetyön käytännön osuudessa käydään läpi kuulusjärjestelmässä käytetyt ohjelmat ja laitteet sekä järjestelmän suunnittelu ja toteutus. Työn lopussa pohditaan järjestelmän jatkokehitysmahdollisuuksia.

IP-pohjaisen kuulusjärjestelmän toteuttaminen onnistui ja se toimi odotetusti. Ainoaksi ongelmaksi nousi sopivien kaiuttimien löytäminen kuulusjärjestelmään, koska varojen rajallisuuden vuoksi kuuluskäyttöön suunniteltujen kaiuttimien hankintaan ei ollut varaa.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Information Technology

RAVANTTI, TEEMU

IP Announcement System

Bachelor's Thesis

45 pages

Supervisor

Martti Kettunen, Principal Lecturer

Commissioned by

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

May 2012

Keywords

VoIP, IP paging, trixbox, barix, SIP

This thesis examines the possibility of creating an IP-based announcement system using the VoIP technology. Voice over IP (VoIP) means transferring voice conversations through the packet switching IP network.

The purpose of this thesis work was to design and implement an operational IP-based announcement system and to explore the possibility of integrating IP phones into the system. An IP phone would work in the system as in the role of the announcer and, at the same time, it would allow two-way voice communication in the system. A test system of the announcement system was built at the data communications laboratory of the Metsola Campus of Kymenlaakso University of Applied Sciences.

The theoretical section deals with the transport and signaling protocols used by the VoIP technology and also the advantages and problems of VoIP. The study also briefly discusses the PoE technology, which allows the electrical current necessary for the operation of each device to be carried by the data cables. The empirical part of the thesis explains the programs and devices used in the announcement system and the designing and implementation of the system. System development ideas are presented at the end of the thesis.

The implementation of the IP-based announcement system was successful and the system worked as planned. The only problem was finding appropriate speakers for the system.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	9
2	TCP/IP-PROTOKOLLAPERHE	10
2.1	Internet-protokolla (IP)	10
2.2	Kuljetusprotokollat	11
2.2.1	TCP-protokolla	11
2.2.2	UDP-protokolla	12
2.2.3	RTP- ja RTCP-protokolla	12
3	VOICE OVER INTERNET PROTOCOL (VOIP)	13
3.1	VoIP-tekniikan edut	14
3.2	VoIP-tekniikan ongelmia	14
3.3	VoIP-tekniikan merkinantoprotokollat	16
3.3.1	H.323-protokolla	16
3.3.1.1	H.323-elementit	16
3.3.1.2	H.323-protokollaperhe	17
3.3.2	SIP-protokolla	19
4	POWER OVER ETHERNET	24
5	YLEISÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄT	26
6	KUULUTUSJÄRJESTELMÄN OHJELMISTOT JA LAITTEET	28
6.1	Trixbox CE -puhelinohjelmistoalusta	28
6.2	Barix Annunicom 200 -kuulutusyksikkö	29
6.3	Cisco 7960G IP-puhelin	30
6.4	Cisco Catalyst 3560 –kytkin	31
7	KUULUTUSJÄRJESTELMÄN TOTEUTUS	31
7.1	Trixbox CE -puhelinohjelmistoalustan asennus	32
7.2	Trixbox CE:n konfigurointi	33

7.3	Barix Annunicom 200 –kuulutusyksiköiden lisääminen järjestelmään	37
7.4	Cisco 7960G IP-puhelimen lisääminen järjestelmään	39
8	YHTEENVETO	42
	LÄHTEET	44

LYHENNELUETTELO

DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol; protokolla IP-osoitteiden jakamiseen verkon laitteille
DSP	Digital Signal Processor; prosessori, joka muuntaa digitaalista puhetta analogiseksi ja päinvastoin
H.225	Protokolla, jota käytetään puhelun merkinantoon H.323-protokollassa
H.245	protokolla, jota käytetään median ohjaukseen H.323-protokollassa
H.323	ITU-T:n määrittelemä yleisstandardi protokollille, jotka mahdollistavat audiovisuaalisen kommunikoinnin pakettipohjaisissa verkoissa
HTTP	Hypertext Transfer Protocol; web-selainten ja www-palvelinten käyttämä tiedonsiirtoprotokolla
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers; Kansainvälinen tekniikanalan järjestö
IP	Internet Protocol; TCP/IP-mallin Internet-kerroksen protokolla, joka toimittaa pakettikytkentäisen verkon tietoliikennepaketit perille
IPv4	Internet Protocol version 4; Internet-protokollan versio 4
IPv6	Internet Protocol version 6; Internet-protokollan versio 6
ISO	International Organization for Standardization; Kansainvälinen standardisimisjärjestö
ITU-T	International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector; kansainvälisen televiestintäliiton televiestintäsektori
MC	Multipoint Controller; MCU:n osa, joka huolehtii kolmen tai useamman liitännäspisteen välisestä samanaikaisesta kommunikoinnista

MCU	Multipoint Control Unit; verkossa oleva laite, joka kontrolloi neuvotteluun osallistuvien liitännäispisteiden kapasiteettia ja pakettien lähettämistä
MEGACO	Media Gateway Control Protocol; IETF:n ja ITU-T:n yhteistyössä kehitetty protokolla VoIP-yhdyskäytävien ohjaukseen
MP	Multipoint Processor; MCU:n osa, joka huolehtii kolmen tai useamman liitännäispisteen välisestä samanaikaisesta kommunikoinnista
OSI	Open Systems Interconnection; malli, joka kuvaa tiedonsiirtoprotokollien yhdistelmän seitsemässä eri kerroksessa
PBX	Private branch exchange; yksityinen puhelinkeskus/-vaihde, joka yhdistää käyttäjien puhelut
PoE	Power over Ethernet; tekniikka käyttöjännitteen syöttämiseen laitteille parikaapelin avulla
Q.931	H.225-protokollassa määritetty signaalointiprotokolla
RAS	Registration, Admissions and Status; rekisteröinti-, pääsy- ja tilamerkinanto, joka tarjoaa puhelun esivaiheen ohjausta H.323-verkoissa
RTCP	Real-time Transport Control Protocol; RTP:n ohjausprotokolla
RTP	Real-time Transport Protocol; protokolla reaaliaikaisen tiedon, kuten kuvan ja äänen siirtämiseen pakettipohjaisissa verkoissa
SDP	Session Description Protocol; protokolla multimediayhteyksien kuvaamiseen
SIP	Session Initiation Protocol; VoIP:n merkinantoprotokolla
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol; sähköpostipalvelimien käyttämä TCP-pohjainen viestinvälitysprotokolla

SNMP	Simple Network Management Protocol; TCP/IP-verkkojen hallintaan käytettävä tietoliikenneprotokolla
TCP	Transmission Control Protocol; OSI-mallin kuljetuskerroksella toimiva yhteydellinen tiedonsiirtoprotokolla
UAC	User-Agent Client; asiakaskäyttäjäagentti, joka toimii SIP-järjestelmissä käyttäjän soittavana agenttina
UAS	User-Agent Server; palvelinkäyttäägentti, joka ottaa vastaan SIP-pyyntöjä ja palauttaa vastauksia käyttäjän puolesta. Toimii SIP-järjestelmissä soitetun osapuolen agenttina.
UDP	OSI-mallin kuljetuskerroksella toimiva yhteydetön tiedonsiirtoprotokolla
URL	Uniform Resource Locator; merkkijono, jota käytetään osoittamaan WWW-sivuja
VoIP	Voice over IP, reaaliaikainen puheensiirto IP-verkossa

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on IP-pohjaisen kuulusjärjestelmän toteuttaminen Voice over IP -tekniikan avulla. Voice over Internet Protocol eli VoIP on tekniikka, jonka avulla ääntä ja videota voidaan siirtää pakettipohjaisissa IP-verkoissa reaaliaikaisesti. Voice over IP -tekniikan käyttö on yleistynyt yrityksissä ja julkishallinnossa voimakkaasti 2000-luvun alkuvuosina, sen monien etujen, kuten edullisuuden ansiosta. Nykyään Voice over IP-tekniikka on levinnyt myös tavallisten kuluttajien keskuuteen.

VoIP on itsessään hyvin laaja-alainen termi, useimmille se tarkoittaa vain puheluita, mutta Voice over IP -tekniikan avulla voidaan toteuttaa useita erilaisia järjestelmiä, kuten tämän opinnäytetyön aiheena ollut kuulusjärjestelmä.

Opinnäytetyön aihe tuli Kymenlaakson ammattikorkeakoulun yliopettaja Martti Ketustelta. Työn tarkoituksena on toimia Kymenlaakson ammattikorkeakoulun IP-pohjaisen kuulusjärjestelmän suunnittelun apuna. Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa toimiva IP-pohjainen kuulusjärjestelmä ja tutkia pystyykö järjestelmään liittämään IP-puhelimia toimimaan tiedottajan roolissa. IP-puhelinten liittäminen kuulusjärjestelmään mahdollistaa kuulususten tekemisen eri paikoista ja luo järjestelmään myös kaksisuuntaisen puheyhteyden, joka esimerkiksi hätätapauksissa mahdollistaisi kommunikoinnin loukkuun jääneiden ihmisten kanssa.

Opinnäytetyö koostuu kuulusjärjestelmässä käytettävien protokollien, tekniikoiden, laitteiden ja ohjelmistojen esittelystä sekä pienen testijärjestelmän toteuttamisesta Kymenlaakson ammattikorkeakoulun Metsolan toimipisteen tietoliikennelaboratorioon, missä työ toteutettiin kesällä 2011. Lisäksi työhön oli tarkoituksena sisällyttää Kymenlaakson ammattikorkeakoulun Metsolan toimipisteen tilojen kartoitus kuulusjärjestelmää varten, mutta tätä ei kyetty tekemään itsestäni riippumattomista syistä johtuen. Kartoituksen sijaan työssä on tarkasteltu yleisesti kuulusjärjestelmän suunnittelussa huomioon otettavia asioita.

Kuulusjärjestelmän toiminnan ymmärtämiseksi työn teoriaosuudessa käsitellään yleisesti Voice Over IP -tekniikkaa ja sen käyttämiä kuljetus- ja merkinantoprotokollia. Tämä opinnäytetyö on jatkoa Mikael Porokaran vuonna 2009 tekemälle opinnäytetyölle IP-pohjainen tiedotusjärjestelmä.

2 TCP/IP-PROTOKOLLAPERHE

TCP/IP-protokollaperhe, eli järjestelmä toisiinsa liittyviä protokollia, sisältää joukon tietoliikenneprotokollia, jotka mahdollistavat tietoverkon eri osien välisen kommunikoinnin. Nämä protokollat määrittelevät verkossa käytettävän kommunikointiprosessin, miltä tietopaketin on näytettävä ja mitä tietoja sen on sisällettävä. TCP/IP-protokollajärjestelmän tehtäviin kuuluu huolehtia sanomien pilkkomisesta hallittaviksi paloiksi, rajapinnasta laitteistotasolle verkkosovittimiin, osoitteistosta, reitityksestä, virheiden havaitsemisesta ja tietojen vastaanotosta sovelluksesta ja lähettämisestä verkkoon. (1, 7 – 9, 22.)

2.1 Internet-protokolla (IP)

Internet-protokolla (internet protocol, IP) on koko TCP/IP-protokollaperheen keskeisin protokolla. IP on yhteydetön paketteja välittävä protokolla, mikä tarkoittaa, ettei mitään luotettavuusmekanismeja, vuonohjausta, järjestystä tai kuittausta ole käytettävissä. Koska pakettien perillemeno ei voida taata, IP:tä voidaan pitää epäluotettavana tiedonsiirron kannalta. Ylempien kerrosten protokollat, kuten TCP, voivat ”istua” IP:n päällä ja tarjota vuonohjausta, järjestämistä ja muita ominaisuuksia. IP:n ei tarvitse käsitellä yleisiä siirtoasioita tai fyysisiä asioita, mikä tekee IP:stä virtuaalisesti kaikkialla läsnä olevan. (2, 154.) (3, 97 – 98.)

IP-protokollan tärkeimpiä tehtäviä ovat pakettien osoiminen, liikenteen reititys IP-osoitteen perusteella, osoitteistus sekä pakettien koon määrittäminen. Eräs IP:n pääedusta on se, että sovellus voidaan kirjoittaa kerran ja toimittaa minkä tahansa tyyppisen siirtotien kautta eteenpäin (2, 155.) (3, 97 – 98.)

IP-paketti voidaan varustaa osoitteella kolmella eri tavalla: yksi- (unicast), moni- (multicast) ja yleis- (broadcast) lähetysmekanismilla. Yksilähetys yksilöi yhden tietyn osoitteen ja vain tuon solmun odotetaan lähettävän paketin OSI-viitemallin ylemmille kerroksille. Yksilähetyksen paketeilla kaksi asemaa voivat kommunikoida keskenään huolimatta fyysisistä sijainneistaan. Monilähetyksen paketit käyttävät erityistä osoitteistusalueita, joka mahdollistaa eri aliverkoissa oleville käyttäjryhmille saman lähetyksen vastaanottamisen. Monilähetyksen avulla lähettäjä lähettää vain yhden paketin, jonka useat toisistaan erillään olevat verkkoisännät voivat ottaa vastaan. Monilähetyksen paketeilla voidaan tehdä sovelluksia, kuten videoneuvottelu, IP-puhelu tai

IP-kuulutus. Yleislähetysten paketit lähetetään kaikille paikallisen aliverkon käyttäjille, mutta oletuksena niitä ei välitetä reitittimien läpi. (2, 155.)

IP-protokollan version 4 (IPv4) mukainen osoite muodostuu neljästä tavusta eli 32 bittistä. IPv4:n suurimmaksi haasteeksi on muodostunut osoitteiden riittämättömyys. 32 bittisellä osoitteella voidaan ilmaista vain 4,3 miljardia eri osoitetta, käytännössä luku on huomattavasti pienempi, sillä osoiteavaruus on käytetty tehottomasti. IPv4:n seuraajaksi on kehitetty IPv6-protokolla. Sen suurin ero IPv4:ään on osoitteen pituus ja osoiteavaruuden laajuus. IPv6 käyttää 128-bittisiä osoitteita, jolloin osoitteita voi olla $3,4 \cdot 10^{38}$. (4, 75 – 76.)

2.2 Kuljetusprotokollat

Internet-protokollan kaksi tärkeintä kuljetusprotokollaa ovat TCP (Transmission Control Protocol) ja UDP (User Datagram Protocol), jotka sijaitsevat kuljetuskerroksella. TCP ja UDP ovat ominaisuuksiltaan erilaisia ja niitä voivat käyttää monenlaiset eri ohjelmat. Luotettavuuden ollessa tärkeämpää kuin viive, pakettien välitykseen kannattaa valita TCP-protokolla. UDP-protokolla ei hoida pakettien uudelleenlähetystyksiä, mikä vähentää luotettavuutta.

2.2.1 TCP-protokolla

TCP tarjoaa sovelluksille luotettavan ja yhteydellisen kuljetuspalvelun. TCP pystyy takaamaan datan perillemenon ja korjaamaan siirtovirheet niin, ettei sovellusten tarvitse huolehtia niistä. TCP:n tarjoama kuljetuspalvelu on aina kahden päätepisteen välisestä point-to-point-tyylistä palvelua ja yhteys muodostetaan jo ennen datan siirtoa. Tämä tarkoittaa, että TCP-protokollan avulla ei voida muodostaa broadcast- tai multicastlähetystyksiä. (5, 166.)

TCP siirtää tietoa yhtenäisenä, rakenteettomana tavuvirtana, jossa tavut tunnistetaan järjestysnumeroilla. TCP tukee monia samanaikaisia rinnakkaisia yhteyksiä, jotka tunnistetaan porttinumeroiden avulla. Vastaanottavan koneen on lähetettävä kuittaus jokaisesta vastaanottamastaan tavusta. TCP-protokolla valvoo aktiivisesti verkon tilaa ja osaa säädellä lähetysnopeuttaan verkon kuormituksen perusteella. (2, 163.) (5, 166.)

TCP:tä käytetään VoIP-yhteyksien merkinanto-osiossa puhelun luotettavuuden varmistamiseen. TCP:n toimintamenetelmien takia sitä ei käytetä VoIP-puheluissa, missä pakettien katoaminen on merkityksettömämpää kuin viiveen esiintyminen. (2, 163.)

2.2.2 UDP-protokolla

User Data Protocol (UDP) on yhteydetön, yksinkertaisempi ja kevyempi kuljetusprotokolla kuin TCP, mutta samalla epäluotettavampi. Kuten TCP, myös UDP tukee samanaikaisia rinnakkaisia yhteyksiä. UDP soveltuu erityisen hyvin syklisiin sovelluksiin, joille ei ole erityisen vakavaa, jos muutama sanoma katoaa matkalla, mutta joissa lähettäjän ja vastaanottajan on tärkeää pysyä synkronoituina. Yleensä UDP:tä käytetäänkin verkoissa, joissa tieto vanhentuu nopeasti, eikä uudelleenlähetyksiin ole aikaa. Internetin ryhmä- ja yleislähetykset toteutetaan UDP:llä. (5, 156 – 157.)

VoIP:ssä UDP:tä käytetään ääniliikenteen kuljettamiseen. TCP:tä ei käytetä, koska VoIP:ssä äänipakettien vuonohjaus ja uudelleenlähetykset ovat tarpeettomia ja kuittauksen odottelu ja uudelleenlähetykset aiheuttaisivat viivettä niin paljon, että äänen laatu muuttuisi kelpaamattomaksi. UDP:tä käytettäessä ääniliikenteen kuljettamiseen, se jatkaa lähetystä huolimatta siitä, menetetäänkö paketeista 5 vai 50 prosenttia. VoIP:ssä ja muissa tosiaikaisissa sovelluksissa viiveen minimointi on tärkeämpää kuin jokaisen paketin luotettavan toimituksen varmistaminen. (2, 164.)

2.2.3 RTP- ja RTCP-protokolla

TCP- ja UDP-protokollat soveltuvat sellaisenaan huonosti reaaliaikaisille sovelluksille kuten VoIP. TCP-protokollan heikkoutena on se, ettei sitä voida käyttää multicast- tai broadcast-tyyppisille lähetyksille, joita reaaliaikaiset lähetykset yleensä ovat. TCP myös lähettää kadonneet datasegmentit uudelleen, mikä ei myöskään ole tarpeellista reaaliaikaisille sovelluksille, koska jos dataa katoaa, ei uudelleenlähetykselle yleensä ole aikaa. Sekä TCP- että UDP-protokollasta puuttuvat myös reaaliaikaisille sovelluksille tärkeä aikainformaation jakelumekanismi. UDP tukee kuitenkin multicast- ja broadcast-tyyppisiä lähetyksiä, joten reaaliaikaista siirtoa tukevaa protokollaa on lähdetty suunnittelemaan sen varaan. (5, 157 – 158.)

RTP-protokolla (Real-time Transport Protocol) on suunniteltu erityisesti reaaliaikaisen tiedon, kuten kuvan ja äänen siirtämiseen pakettipohjaisissa verkoissa. RTP toimii

yleensä UDP:n päällä. Sen toiminta perustuu lyhyeen tunnisteeseen, joka lisätään reaaliaikaista siirtoa sisältävään pakettiin. Tunnisteen tärkein tehtävä on siirtää aikaleimoja vastaanottopään synkronointia varten. Tunniste sisältää myös sarjanumeron kadotettujen pakettien tunnistamiseen ja järjestyksen säilyttämiseen. (5, 157 – 158.)

RTP-protokollassa varsinainen datanlähetys ja lähetyksiin liittyvä ohjausprotokolla on erotettu kahdeksi erilliseksi kokonaisuudeksi. Tällä on taattu se, että RTP tarjoaa yleisen mekanismin reaaliaikaisten lähetysten synkronointiin ja tämän perusprotokollan hallintaan voidaan käyttää oikeastaan mitä tahansa hallintamekanismia. Hallintaan sopii kuitenkin parhaiten siihen erityisesti kehitetty RTCP-protokolla. (5, 157 – 158.)

RTP-protokolla ei takaa palvelun laatua eikä muitakaan reaaliaikaisten sovellusten vaatimuksia, vaan sen tehtävänä on ennemminkin tarjota mekanismit reaaliaikaisen sovelluksen tarjoamiseen verkossa. (5, 159.)

RTCP (Real-time Transport Control Protocol) suunniteltiin RTP:n ohjausprotokollaksi. RTCP:n tehtävänä on valvoa RTP:n palvelun laatua ja verkon tilaa, kuten viivettä ja kadotettuja paketteja. RTCP lähettää kontrollipaketteja, jotka sisältävät tietoa synkronoinnista ja yhteyksien laadusta. RTCP tarjoaa tukea internetin tosiaikaisille ryhmäneuvotteluille, jotka voivat olla minkä kokoisia tahansa. Tähän tukeen kuuluvat lähteen tunnistaminen, yhdyskäytävätki sekä ääni- ja videosillat. RTCP-protokollaa suunniteltaessa on noudatettu periaatetta, jonka mukaan kontrolliliikenteen osuus saa olla korkeintaan viisi prosenttia kokonaisliikenteestä. (2, 181 – 182.) (5, 158 – 163.)

3 VOICE OVER INTERNET PROTOCOL (VOIP)

VoIP eli IP-puhe tarkoittaa kokonaan tai osittain IP-pohjaisissa verkoissa tapahtuvaa reaaliaikaista puheen tai äänen siirtoa. VoIP yhdistää piirikytkentäisen teletekniikan ja pakettivälitteisen IP-maailman. Perinteisessä puhelinverkossa yhteydet ovat piirikytkentäisiä, eli soittajan ja vastaanottajan välillä on fyysinen yhteys koko puhelun ajan. IP-verkossa kommunikointi taas tapahtuu pakettikytkentäisesti. Lähetettävä viesti pilkottaan paketeiksi ja lähettäjän ja vastaanottajan välillä ei ole pysyvää fyysistä yhteyttä, vaan paketit voivat matkata perille useita eri reittejä pitkin. Vastaanottajan päässä paketit järjestetään oikeaan järjestykseen erilaisten protokollien avulla. (6, 13.)

VoIP-verkoissa tarvitaan päätelaitteita, joiden avulla analoginen puhe muutetaan digitaaliseksi ja tämän jälkeen ääni siirretään verkon yli pakettimuotoisena datana. Vastaanottajan päässä päätelaite muuntaa paketit takaisin analogiseen muotoon. Päätelaitteenä voi toimia esimerkiksi IP-puhelin tai tietokoneeseen asennettu VoIP-puhelinohjelmisto. VoIP-puhelut voidaan siirtää myös yleiseen puhelinverkkoon puhelinvaihteen avulla. (6, 13.)

VoIP-puhelu koostuu merkinantoprotokollasta ja puheen siirtoon käytettävästä protokollasta. Merkinantoprotokollan tehtävänä on huolehtia puhelun muodostamiseen, ylläpitoon ja päättämiseen tarvittavasta signaloinnista. Puheen siirtoon käytetään yleensä RTP-protokollaa, joka huolehtii puheen siirrosta eri osapuolten välillä. (6, 13.)

3.1 VoIP-tekniikan edut

Yksi suurimmista asioista, joka on vaikuttanut ääni- ja dataverkkojen yhdistämiseen, on rahallinen säästö. Yhdistämällä ääni- ja dataverkkonsa yritysten ei tarvitse tilata niin montaa piiriä yleisestä puhelinverkosta. Lisäksi IP-infrastruktuuri vaatii vähemmän lisäyksiä, siirtoja ja muutoksia kuin perinteinen ääni- tai dataverkko. Tämä johtuu DHCP:n (Dynamic Host Control Protocol) käyttömahdollisuudesta. DHCP:n avulla laite (työasema tai IP-puhelin) voi saada dynaamisesti IP-osoitteen, eli laitteeseen ei tarvitse kiinteästi määrittää IP-osoitetta. DHCP:n avulla määritelty IP-puhelin voi siis pitää saman puhelinnumeron, vaikka puhelinta siirrettäisiinkin paikasta toiseen. (2, 130 – 131.)

3.2 VoIP-tekniikan ongelmia

On tärkeää tietää käytettävän verkkoteknologian heikkoudet ja sen sisäinen toiminta, jotta kunnollisen verkon voisiin suunnitella. Tässä luvussa käsittelyyn on otettu VoIP-tekniikan yleisimmät ongelmat: viive, värinä, kaiku ja pakettien häviäminen.

VoIP-tekniikassa viive on aika, joka kuluu puheen lähtiessä puhujan suusta ja saapuessa kuulijan korvaan. VoIP-verkoissa esiintyy neljää erilaista viivettä: levitys-, sarjoitus-, käsittely- ja jonotusviivettä. Levitysviiveen saa aikaan valonnopeus kuitu- tai kupariverkoissa. Sarjoitusviive syntyy kun siirrettävät bitit ja tavut viedään esimerkiksi reitittimen rajapinnalle. Käsittelyviive syntyy pakettien käsittelystä. Käsittelyviivettä aiheuttavat kaikki laitteet, jotka välittävät paketteja verkossa. Jonotusviivettä esiintyy,

kun reitittimelle toimitetaan enemmän paketteja kuin se ehtii käsitellä. ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) on määritellyt, että hyvälle äänen laadulle ei tulisi sallia enempää päästä-päähän-viivettä kuin 150 ms yhteen suuntaan. Suurempi viive aiheuttaa pakettien pudotuksia, mistä seuraa ääneen laadun huonontumista. (2, 167 – 169.)

Värinä tarkoittaa paketin saapumisajan vaihtelua. Tarkemmin sanottuna eroa joka syntyy ajallisesti, kun paketin odotetaan saapuvan ja kun se todellisuudessa saapuu. Värinää esiintyy ainoastaan pakettipohjaisissa verkoissa. Värinä ei tavallisesti ole suuri ongelma, jos dataverkko on suunniteltu hyvin ja sen varotoimenpiteistä huolehditaan. Värinää voidaan vähentää värinäpuskureilla, joilla piilotetaan pakettien väliset viiveiden vaihtelut. Runsas värinä voi kasvattaa verkon kokonaisviivettä, koska mitä enemmän värinää esiintyy, sitä suurempi värinäpuskuri tarvitaan. Värinäpuskureita on kahdenlaisia, staattisia ja dynaamisia. Staattiset värinäpuskurit pakottavat sen olemaan joko liian suuri tai liian pieni, minkä takia äänen laatu kärsii kadonneiden pakettien tai runsaan viiveen takia. Kehittyneempi Ciscon kehittämä dynaaminen värinäpuskuri on dynaaminen jono, jossa käytetään RTP-pakettien aikaleimoja värinän suuruuden päätelyyn. Jono pienenee tai suurenee verkossa ilmenneen värinän perusteella. (2, 170 – 171.)

Kaiku tarkoittaa oman äänen kuulemista viiveellä puhelun aikana. Kaiku saa keskustelun huonosti ymmärrettäväksi, aiheuttaen keskeytyksiä ja rikkoen keskustelun kulkua. Pakettipohjaisissa verkoissa kaiun kumoajia voidaan lisätä hitaisiin koodekkeihin ja käyttää niitä digitaalisen signaalin käsittelypisteissä, esimerkiksi yhdyskäytävän DSP:ssä (Digital Signal Processor). Kaiun kumoamisen voi tehdä myös ohjelmallisesti, mutta esimerkiksi Ciscon VoIP-toteutuksissa kaiunpoisto tehdään DSP:n avulla. (2, 175.)

Pakettien häviäminen on pakettikytkentäisissä verkoissa sekä yleistä että odotettua. Pakettien häviämistä on tärkeä kontrolloida verkoissa, joissa lähetetään kriittistä liikennettä. Hyvällä dataverkkojen suunnittelulla pakettien häviämisen voi pitää minimiallisena. Paketti häviää, jos se joutuu odottamaan esimerkiksi reitittimen jonossa liian kauan. Ääntä sisältävässä paketissa on normaalisti 20 millisekuntia puhetta. Koska paketin häviäminen on vain 20 millisekuntia puheesta, ihminen ei huomaa eroa äänen laadussa. Jos viestistä puuttuu yksi paketti, vastaanottavan laitteen värinäpuskuri odot-

taa paketin saapumista määritellyn ajan. Jos paketti ei saavu arvioidun ajan kuluessa, asema käyttää salaamisstrategiaansa. Salaamisstrategia toistaa edellisen saapuneen paketin hävinneen paketin tilalla, jolloin vastaanottaja ei kuule hiljaisia välejä. Salaamisstrategiaa voidaan käyttää vain jos yksi paketti häviää. Jos useita peräkkäisiä paketteja häviää, salaamisstrategia ajetaan vain kerran, kunnes toinen paketti saapuu. Käytettäessä Ciscon G.729-toteutusta VoIP-liikenteessä paketteja saa puhelun aikana kadota viisi prosenttia. (2, 176 – 177.)

3.3 VoIP-tekniikan merkinantoprotokollat

Merkinantoprotokollia tarvitaan VoIP-yhteyksissä puhelun muodostamiseen ylläpitämiseen ja päättämiseen. Merkinannossa kerrotaan myös kohdelaitteen osoite tai osoitteet ja käytetyt mediat (ääni, kuva, video, data). Yhteyden muodostamisessa sovitaan median koodauksista ja mahdollisesta salauksesta. Yleisimmät VoIP:ssa käytetyt merkinantoprotokollat ovat H.323 ja SIP. VoIP:n alkuaajoista lähtien H.323 on ollut käytetyin merkinantoprotokolla, mutta viime aikoina SIP on nopeutensa ja muokattavuutensa ansiosta ohittanut suosiossa H.323:n. (4, 31 – 32.)

3.3.1 H.323-protokolla

H.323-standardi oli ensimmäinen VoIP:ia varten kehitetty protokolla ja sitä on käytetty perustana monille myöhemmin kehitetyille protokollille. H.323 on ITU-T:n (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) määrittänyt äänen, videon ja datan lähettämisestä IP-verkon yli. H.323-standardiin kuuluu puhelun merkinantoa ja ohjausta, multimedian kuljetusta ja ohjausta sekä kaistanleveyden kontrollointia point-to-point- ja multipoint-neuvotteluissa. (2, 231.)

3.3.1.1 H.323-elementit

H.323-standardi muodostuu elementeistä ja protokollista. Elementteihin kuuluvat päätteet, yhdyskäytävät, portinvartijat ja MCU-yksiköt.

Päätteet, joita usein kutsutaan myös liitäntäpisteiksi, mahdollistavat kaksisuuntaisen reaaliaikaisen äänikommunikoinnin muiden päätelaitteiden välillä. Valinnaisesti laitteet voivat mahdollistaa myös videon ja datan siirron päätelaitteiden välillä. H.323-päätteiden pitää sisältää järjestelmän ohjausyksikkö, lähetysyksikkö, äänikoodekki ja

rajapinta pakettipohjaiseen verkkoon. Päätteet voivat sisältää myös videokoodin ja käyttäjätietojen sovellukset videon ja tietojen siirtoon. (2, 232.)

Yhdyskäytävät yhdistävät yleisen puhelinverkon H.323-liitäntäpisteeseen. Yhdyskäytävän tehtävänä on muuntaa ääni-, video- ja dataformaatteja, kuten myös tietoliikennejärjestelmiä ja protokollia. Tähän kuuluvat puhelun aloitus ja lopetus sekä IP-verkossa, että yleisessä piirikytkentäisessä puhelinverkossa. Yhdyskäytäviä ei tarvita, mikäli yhteyttä yleiseen puhelinverkkoon ei vaadita. H.323-liitäntäpisteet voivat kommunikoida keskenään pakettiverkon yli ilman kytkemistä yhdyskäytävään. (2, 234.)

Portinvartija on valinnainen toiminto H.323-järjestelmissä, mutta mikäli toiminto on otettu käyttöön, on päätelaitteiden käytettävä portinvartijan palveluita. Portinvalvoja tarjoaa tukea puhelun esivaiheeseen ja puhelun ohjauspalvelua H.323-liitäntäpisteille. Portinvalvojan tärkein tehtävä on hoitaa osoitemuunnokset liitäntäpisteille H.323-aliasnimistä tai yleisen puhelinverkon numeroista IP-osoitteiksi. Osoitemuunnos siis mahdollistaa soittamisen käyttäjälle ”Teemu”, vaikka päätelaitteen IP-osoitetta ei olisi tiedossa. Muita portinvalvojan tehtäviä ovat sisäänpääsyn valvominen, kaistanleveyden hallinta ja vyöhykkeiden hallinta. Valinnaisesti portinvalvoja voi tarjota myös puhelunohjauksen merkinantoa, kaistanleveyden hallintaa, puhelunhallintaa ja puhelunvaltuuksien rajoittamista. (2, 234.)

MCU kontrolloi neuvotteluun osallistuvien liitäntäpisteiden kapasiteettia ja sitä, mitkä paketit lähetetään suoraan pääteestä päätteeseen ja mitkä multicastina. MCU-yksikkö muodostuu tyypillisesti MC:stä (Multipoint Controller) ja ääni-, video- ja data-MP:stä (Multipoint Processor). MC huolehtii kolmen tai useamman liitäntäpisteen välisestä samanaikaisesta kommunikoinnista lähettämällä ominaisuuksia neuvottelun jokaiseen liitäntäpisteeseen ja tarkkailemalla niitä neuvottelun ajan. MP ottaa vastaan ääni-, video- ja datavirtoja ja jakaa ne neuvotteluun osaa ottaville liitäntäpisteille. (2, 234.)

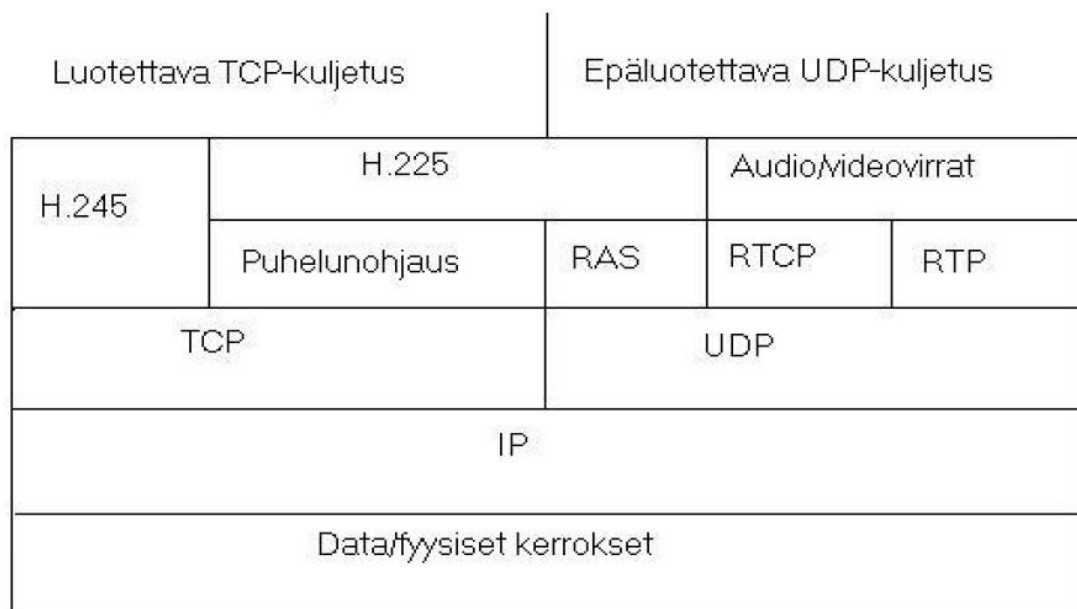
3.3.1.2 H.323-protokollaperhe

H.323-protokollaperhe tukee puhelun myöntämistä, aloitusta, tilaa, purkamista, mediavirtoja ja viestejä H.323-järjestelmissä. H.323-protokollaperhe muodostuu seuraavista protokollista:

Piirre	Protokolla
Puhelun merkinanto	H.225
Median ohjaus	H.245
Äänikoodikit	G.711, G.722, G.723, G.728, G.729
Videokoodikit	H.261, H.263
Datan jakaminen	T.120
Median kuljetus	RTP/RTCP

Näitä protokollia tukevat dataverkkojen yli luotettavat (TCP) ja epäluotettavat (UDP) pakettien välitysmekanismit. Median ohjauksessa ja puhelun merkinannon kuljetuksessa käytetään luotettavia TCP-yhteyksiä, H.323:n versio 2 mahdollistaa myös UDP:n käytön merkinannon kuljetusmekanismina. Epäluotettavia UDP-yhteyksiä käytetään median kuljetuksessa ja puhelun esivaiheen RAS-ohjauksessa portinvartija-pohjaisissa verkoissa. (2, 236 – 237.)

H.323-protokollaperhe on jaettu kolmeen ohjauksen pääalueeseen: RAS-merkinantoon, puhelunohjauksen merkinantoon ja median ohjaukseen ja kuljetukseen. Kuvassa 1 on H.323-protokollaperheen kerrokset.



Kuva 1. H.323-protokollaperheen kerrokset (2, 237.)

Rekisteröinti-, pääsy- ja tila-merkinanto (Registration, Admissions and Status, RAS) tarjoaa puhelun esivaiheen ohjausta H.323-verkoissa, joissa on portinvartijoita ja vyöhyke. RAS-kanava muodostetaan IP-verkon yli päätelaitteiden ja portinvartijoiden vä-

lille. RAS-kanava avataan ennen kuin muut kanavat muodostetaan ja se on riippumaton puhelunohjauksen merkinannosta ja median kuljetuskanavista. RAS käyttää viestien kuljettamiseen epäluotettavaa UDP-yhteyttä. RAS-viestien tehtävänä on suorittaa rekisteröinti-, pääsy-, kaistanleveyden vaihto-, tila- ja vapautusproseduureja. (2, 237.)

Puhelunohjauksen merkinanto H.323-verkoissa perustuu ITU:n (International Telecommunication Union) ehdotukseen H.225. H.225-protokollassa on määritetty Q.931-merkinantoviestien käyttö ja tuki. Luotettava puhelunohjauskanava luodaan IP-verkon yli TCP-porttiin 1720, joka aloittaa Q.931-puhelunohjausviestit kahden liitäntäpisteen välillä. Viestien tarkoituksena on hoitaa puheluiden yhdistäminen, ylläpito ja katkaiseminen. (2, 241.)

Median ohjauksesta H.323-verkoissa huolehtii H.245-protokolla, joka hoitaa osapuolten välisen päästä-päähän-ohjausviestinnän. H.245-protokolla muodostaa luotettavia loogisia kanavia äänen, videon, datan ja ohjauskanavatietojen siirtoa varten. Liitäntäpiste muodostaa yhden kanavan jokaista puhelua varten toisen liitäntäpisteen kanssa. Kanavan kautta hoidetaan ominaisuuksien ja loogisten kanavien avaukset ja sulkemiset, etusijatilat ja viestien ohjaus. H.245-ohjauskanavan avulla on mahdollista erottaa lähetyksen ja vastaanoton ominaisuuksien vaihdot ja esimerkiksi neuvotella toiminnoista, kuten siitä, mitä koodekkia käytetään. (2, 244.)

Median kuljetus H.323-verkoissa hoidetaan RTP- ja RTCP-protokollilla. RTP mahdollistaa tosiaikaisen, päästä-päähän tapahtuvan vuorovaikutteisen äänen, videon ja datan kuljetuksen yksi- tai monilähetysverkkojen yli. RTP:n palveluihin kuuluvat hyötykuorman tunnistus, järjestäminen, aikaleimaus ja seuranta. RTP luottaa alempiin kerroksiin ja muihin mekanismeihin varmistaessaan oikeaan aikaan tapahtuvasta kuljetuksesta, resurssien varauksesta, luotettavuudesta ja palvelun laadusta. RTCP-protokolla valvoo datan kuljetusta sekä palvelun ohjausta ja tunnistamista. RTP- ja RTCP-virrat kuljetetaan epäluotettavilla UDP-yhteyksillä siten, että RTP-virrat kulkevat parillisissa porttinumeroissa ja RTCP-virrat parittomissa yhden luvun suuremmisissa porttinumeroissa. (2, 246.)

3.3.2 SIP-protokolla

Yhteysjakson aloitusprotokolla SIP (Session Initiation Protocol) on OSI-mallin sovel-luskerroksella toimiva merkinantoprotokolla. SIP perustuu yksinkertaisiin tekstipoh-

jaisiin sanomiin, jonka viestisyntaksi ja otsikkokentät ovat identtisiä HTTP-protokollan (Hypertext Transfer Protocol) kanssa. Sitä käytetään multimediaistuntojen, kuten internet-puheluiden, neuvottelujen ja muiden ääntä, videota ja dataa sisältävien sovellusten muodostamiseen, ylläpitoon ja lopettamiseen. Istuntoon voidaan lisätä ja poistaa käyttäjiä ja medioita kesken istunnon. SIP:n avulla voidaan muodostaa yksi- ja monilähetysistuntoja, kuten myös point-to-point- ja multipoint-puheluja. SIP ei ota kantaa siihen onko istunto puhelu, videoneuvottelu vai esimerkiksi internetissä pelattava peli. (2, 253.) (7, 25.)

SIP:n viisi pääominaisuutta yhteyksien muodostamiseen ja lopettamiseen ovat:

- Käyttäjän sijainti: ominaisuus mahdollistaa kulloinkin kommunikointiin käytettävän laitteen (käyttäjäagentti, user agent) löytymisen verkosta.
- Käyttäjän tila: käyttäjän mahdollisuus ja halu ottaa vastaan puheluita tai muuta mediaa.
- Käyttäjän ominaisuudet: osapuolet määrittelevät tuetut ominaisuudet eli mediat, parametrit yms. joita käyttäjän päätelaite ja verkkoliitäntä tukevat.
- Istunnon luominen: sisältää soittamisen ja sopimisen istunnon osapuolten välillä käytettävistä parametreista.
- Istunnon hallinta: sisältää istunnon (esimerkiksi puhelun) siirron, lopetuksen ja modifioinnin.

SIP:ssä voidaan myös siirtää lyhyitä sanomia käyttäjien välillä merkinantoprotokollan sisällä ilman erillistä mediaa. (7, 25 – 26.)

SIP ei ole kokonainen palvelu vaan palveluelementti, jota käytetään yhdessä muiden palveluelementtien kanssa tuottamaan erilaisia palveluja käyttäjille. SIP-protokolla toimii yhdessä kuljetuskerroksen TCP- ja UDP-protokollien kanssa. Jos protokollatyyppiä ei ole määritelty SIP-pyynnössä, käyttää SIP ensisijaisesti yhteyksissään UDP-protokollaa sen nopeuden ansiosta. Näiden lisäksi SIP:n yhteydessä käytetään VoIP-palvelun toteuttamiseen RTP-, SDP- ja MEGACO-protokollia. (7, 26.)

RTP on UDP:n päällä toimiva protokolla reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon ja palvelutason seuraamiseen. RTP:n tehtävänä on myös lisätä UDP-sanomiin järjestysnumerot ja aikaleimat. SDP-protokollaa (Session Description Protocol) käytetään multimediaistun-
tojen kuvaamiseen. SDP välittää istunnon nimen ja tarkoituksen, käytetyn median,
tarvittavat osoitteet, porttinumerot, tarvittavan siirtokapasiteetin sekä istunnosta vas-
taavan henkilön yhteystiedot. MEGACO (Media Gateway Control Protocol) ohjaa yh-
dyskäyttävät yleiseen puhelinverkkoon. SIP voi toimia myös muiden merkinantoproto-
kollien, kuten H.323:n kanssa. (7, 26.)

SIP:n toiminta perustuu käyttäjäagentteihin (esimerkiksi IP-puhelin) ja verkkopalve-
limiin (SIP proxy). Käyttäjäagentit sisältävät sekä asiakaskäyttäjäagentin (User-Agent
Client, UAC) että palvelinkäyttäjäagentin (User-Agent Server, UAS). Asiakaskäyttä-
jäagentti aloittaa SIP-pyyntöt ja toimii käyttäjän soittavana agenttina. Palvelinkäyttä-
jäagentti ottaa vastaan pyyntöjä ja palauttaa vastauksia käyttäjän puolesta, eli toimii
soitetun osapuolen agenttina. Käyttäjän laite rekisteröityy verkkopalvelimelle, jonka
kautta laite on aina tavoitettavissa. Verkkopalvelimia on kahta eri tyyppiä, välityspal-
velimia ja uudelleenohjauspalvelimia. Välityspalvelin toimii muiden asiakkaiden puo-
lesta ja se sisältää tiedot palvelimelle kirjautuneista käyttäjistä sekä muita palvelintoi-
mintoja. Välityspalvelin tulkitsee ja pystyy kirjoittamaan SIP-viestien otsikot uudel-
leen, ennen kuin välittää viestit muille palvelimille. Uudelleenohjauspalvelimen tehtä-
vänä on ottaa vastaan SIP-pyyntöjä ja lähettää uudelleenohjattu vastaus takaisin asiak-
kaalle, joka sisältää seuraavan palvelimen osoitteen. Uudelleenohjauspalvelimet eivät
vastaanota puheluita, eivätkä ne käsittele tai välitä SIP-pyyntöjä. (2, 254.) (7, 26.)

SIP-protokollassa puhelinnumeroina toimivat sähköpostiosoitteita muistuttavat SIP-
osoitteet, joita kutsutaan myös nimellä SIP URL (Universal Resource Locator). Osoit-
teet muodostuvat käyttäjäosasta ja verkkoisäntäosasta ja ovat muotoa ”käyttä-
jä@isäntä”. Käyttäjäosa voi olla käyttäjän nimi tai puhelinnumero ja verkkoisäntäosa
voi olla verkkoalueen nimi tai verkon osoite. SIP-osoite voi siis esimerkiksi olla
sip:teemu@kyamk.fi tai sip:3753242@10.0.0.5. Käyttäjät ovat tavoitettavissa SIP-
osoitteen kautta riippumatta heidän sijainnistaan verkossa. (2, 254 – 255.)

SIP-viestejä on kahta eri tyyppiä: pyyntöjä, jotka asiakkaat aloittavat ja vastauksia,
joita palvelimet palauttavat. Jokainen viesti sisältää yhteyden yksityiskohtia kuvaavaan otsikon. Viestiotsikoita käytetään soittavan osapuolen, soitetun osapuolen, reitin

ja puhelun viestityypin määrittämiseen. Viestiotsikot jaetaan neljään ryhmään: yleisot- sikoihin, joita käytetään pyyntöihin ja vastauksiin. Osapuolen otsikoihin, jotka määrit- televät tietoja viestirungon pituudesta ja tyypistä. Pyyntöotsikoihin, joiden avulla asiakas voi laittaa mukaan pyyntöön liittyvää lisätietoa ja vastausotsikoihin, joiden avulla palvelin voi laittaa mukaan vastaukseen liittyvää lisätietoa. (2, 256.)

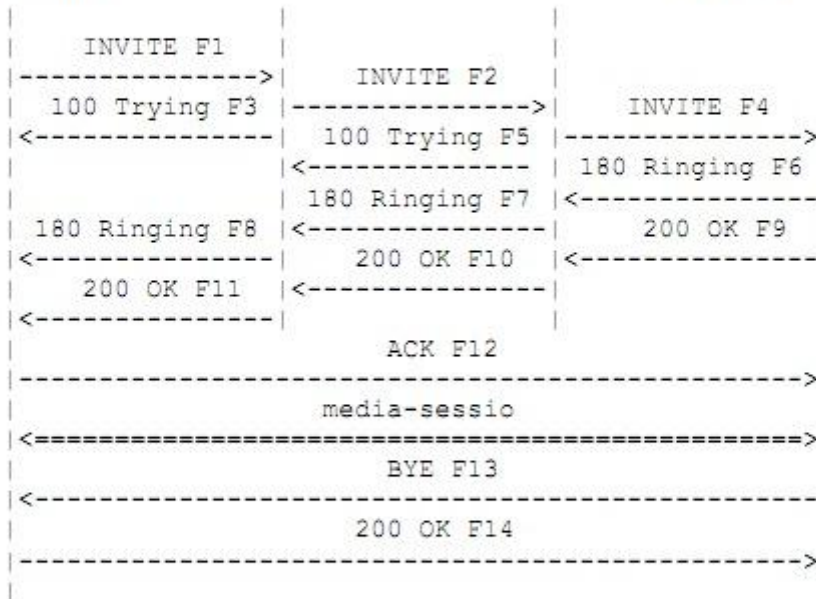
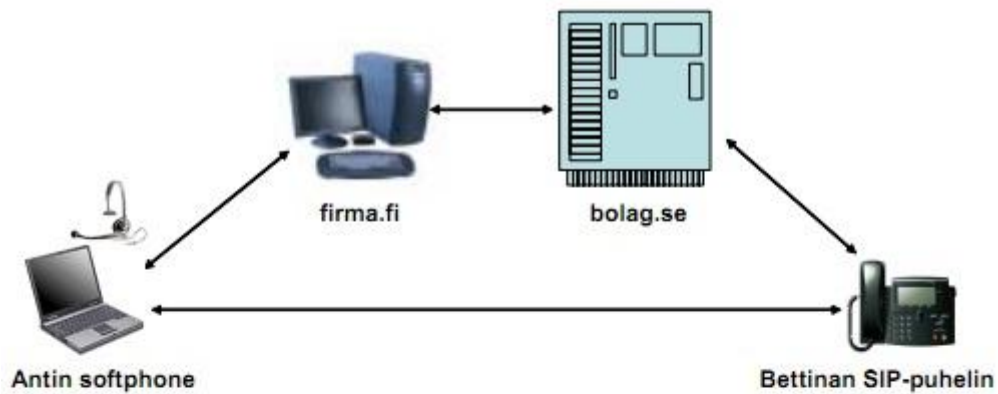
SIP-järjestelmään kuuluu kuusi viestipyyntöä tai metodia, joiden avulla käyttäjäagen- tit ja verkkopalvelimet pystyvät paikantamaan, kutsumaan ja käsittelemään puheluja. INVITE-metodilla pyydetään käyttäjää tai palvelua osallistumaan istuntoon ja se sisäl- tää istunnon kuvauksen. Kaksisuuntaisessa puhelussa soittava osapuoli ilmaisee me- diatyyppin. ACK-pyyntöillä vastataan INVITE-pyyntöihin ja ne edustavat loppujärjes- telmän lopullista vahvistusta ja päättävät INVITE-komennon aloittaman tapahtuman. Jos soittava osapuoli on laittanut istunnon kuvauksen ACK-pyyntöön, istunnossa ei käytetä mitään lisäparametreja. Mikäli istunnon kuvaus puuttuu, käytetään INVITE- pyynnössä olevia istuntoparametreja oletusarvona. OPTIONS-metodilla kysytään ja kerätään käyttäjäagenttien ja verkkopalvelimien ominaisuuksia. BYE-metodia käyte- tään puhelun lopetukseen. Ennen puhelun todellista lopettamista käyttäjäagentti lähet- tää BYE-pyyntöä palvelimelle ilmaisten halunsa puhelun lopettamiseen ja vasta tä- män jälkeen puhelun toiselle osapuolelle. CANCEL-pyyntöä avulla käyttäjäagentit ja verkkopalvelimet voivat peruuttaa meneillään olevan pyynnön. REGISTER-metodilla asiakkaat rekisteröivät sijaintitietonsa SIP-palvelimille. (2, 257 – 258.)

SIP-viestivastaukset perustuvat pyyntöjen vastaanottamiseen ja tulkintaan. Viestivas- tauksia lähetetään vastauksina pyyntöihin ja ne ilmaisevat puhelun onnistumista tai epäonnistumista ja palvelimen tilaa. Viestivastaukset on jaettu eri luokkiin ja katego- rioihin. Vastausluokat ovat informatiivinen, onnistuminen, uudelleenohjaus, asiakas- pään virhe, palvelimen virhe ja globaali virhe. Vastauksien kaksi kategoriaa ovat tila- päinen, joka ilmaisee etenemistä ja lopullinen, joka päättää pyynnön. Vastausluokista informatiiviset vastaukset kuuluvat tilapäisiin vastauksiin ja muut luokat lopullisiin vastauksiin. (2, 258 – 260.)

Puhelun muodostus alkaa palvelimen paikallistamisella, jolloin asiakas lähettää SIP- pyynnön joko suoraan paikallisesti määritellylle välityspalvelimelle tai vastaavaan SIP URL IP -osoitteeseen ja porttiin. SIP-pyyntöä lähettäminen suoraan välityspalveli- melle on helppoa, koska loppujärjestelmän sovellus tietää välityspalvelimen. Jos

pyyntö lähetetään vastaavaan SIP URL IP-osoitteeseen, tarvitsee käyttäjän tietää palvelimen IP-osoite ja porttinumero. Mikäli porttinumeroa ei ole määritetty, käytetään porttia 5060. Asiakkaan täytyy myös pyytää nimipalvelimelta (Domain Name System, DNS) verkkoisännän IP-osoite, ja jos osoitetta ei löydy, asiakas ei pysty paikallistamaan palvelinta eikä voi jatkaa pyyntöä. (2, 255.)

Soittaessaan puhelun käyttäjäagentti lähettää INVITE-pyyntön verkkopalvelimelleen, joka välittää pyynnön vastaanottajan verkkopalvelimelle. Puhelun vastaanottajan verkkopalvelin katsoo mistä IP-osoitteesta ja UDP-portista puhelun vastaanottaja on rekisteröitynyt ja lähettää sanoman sinne. Puhelun vastaanottaja lähettää onnistumisesta kertovan OK-sanoman, joka kulkee samaa reittiä verkkopalvelimien kautta takaisin puhelun soittajalle. OK-sanoma sisältää puhelun vastaanottajan IP-osoitteen ja porttinumeron, joiden kautta kutsuttu liittymä on tavoitettavissa. Tämän jälkeen soittajan käyttäjäagentti voi kommunikoida ilman verkkopalvelimia suoraan vastaanottajan kanssa, jolle se lähettää ACK-pyyntön ilmoituksena onnistuneesta puhelun muodostuksesta. Tämän jälkeen varsinaisen puhelun tai sen päättämiseen liittyvän signaloinnin ei tarvitse kulkea verkkopalvelimien kautta, vaan se voi kulkea vain päätelaitteiden välillä. (2, 261.) (7, 26.)



```

INVITE sip:bettina@bolag.se SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP pc33.firma.fi;branch=z9hG4bK776asdhds
Max-Forwards: 70
To: Bettina <sip:bettina@bolag.se>
From: Antti <sip:antti@firma.fi>;tag=1928301774
Call-ID: a84b4c76e66710@pc33.firma.fi
CSeq: 314159 INVITE
Contact: <sip:bettina@bolag.se>
Content-Type: application/sdp
Content-Length: 142

```

Kuva 2. SIP-puhelun muodostus ja purku (7, 27.)

4 POWER OVER ETHERNET

Power over Ethernet (PoE) on tekniikka, jonka avulla käyttöjännite voidaan syöttää kytkimen portista parikaapelia pitkin päätelaitteille. Tyypillistä PoE-tekniikkaa hyödyntäville laitteille on pieni virrankulutus tai epätavallinen sijoituspaikka muihin päätelaitteisiin verrattuna (WLAN-tukiasemat, IP-puhelimet, web-kamerat, valvontakamerat). PoE-tekniikan tarkoitus on saada jännitteensyöttö keskitettyä kerrosjakamoihin, säästää pistorasioita ja vähentää päätelaitekohtaisia virtalähteitä. PoE mahdollis-

taa myös laitteiden hallinnoimisen etäyhteyden välityksellä SNMP-protokollan avulla. PoE-tekniikan haasteita ovat kommunikointilinkin signaali-kohinasuhde ja pieneen kokoon rakennettujen kytkimien tehotiheys. (8.) (9.)

PoE ratifioitiin IEEE802.3af-standardiksi vuonna 2003. Standardin mukaan laitteet jaetaan kahteen luokkaan: tehoa Ethernet-kaapeliin syöttäviin PSE (Power Sourcing Equipment) laitteisiin ja Ethernet-kaapelin kautta kulkevaa sähköä käyttäviin PD (Powered Device) laitteisiin. PSE hallinnoi järjestelmää ja siihen on sijoitettu kaikki äly. Näin sähköä käyttävien PD-laitteiden toiminnallisuus voidaan toteuttaa yksinkertaisella ja edullisella laitteistotason ratkaisulla. PSE-laite voi olla integroitu kytkimeen, jolloin kyseessä on end-span- tai end-point-laite tai se voi olla erillinen laite, joka sijaitsee kytkimen ja PD-laitteen välillä, jolloin laitetta kutsutaan mid-span-laitteeksi. (9.)

Standardinmukaisessa Ethernet-kaapelissa on neljä paria, joista kymmenen ja sadan megabitin Ethernetit käyttävät vain kahta paria datan kuljetukseen, gigabitin Ethernetissä kaikki neljä paria kuljettavat dataa. Kymmenen ja sadan megabitin Ethernetissä tehonsyöttö voi tapahtua joko datapareissa tai vapaissa pareissa, gigabitin Ethernetissä tehonsyöttö voi tapahtua vain datapareissa. PSE syöttää väylälle tehoa 15,4 wattia 48 voltin nimellisellä tasajännitteellä, jonka vastaanottava PD-laite muuntaa elektronikalle käytännöllisemmäksi jännitteeksi. Käytännössä PSE:n syöttämä teho on maksimissaan 12,95 wattia muun muassa siirtolinjassa tapahtuvien häviöiden vuoksi. PSE osaa tunnistaa vastaanottavan laitteen tehontarpeen ja syöttää sille sopivan tehon. PoE-sovelluksissa tehonsyöttö voidaan turvata keskitetysti sijoittamalla UPS-laite (Uninterruptible Power Supply) kytkimen yhteyteen turvaamaan tehonsyöttö sekä PSE- että PD-laitteille verkkokatkosten ajaksi. (9.)

Ethernetin kautta tapahtuva sähkönsyöttö koostuu neljästä pääprosessista: havainnointi, luokittelu, normaali sähkönsyöttö ja sähkönsyötön katkaisu. Havainnointiprosessi selvittää, pitääkö vastaanottavalle PD-laitteelle syöttää sähköä ja varmistaa, ettei sähköä kytketä laitteeseen, joka ei tue PoE:ta. Luokitteluprosessi, jossa määritetään PD:n tehonvaatimukset, suoritetaan ennen normaalitoimintaa. Luokitteluprosessin avulla hallitaan tehonkulutusta ja se mahdollistaa optimoitujen PSE-laitteiden suunnittelun. Kun kaikki PD-laitteet luokitellaan, PSE voi laskea suurimman mahdollisen tehonkulutuksen ja varmistaa, ettei tehoraja koskaan ylitä. Jos PD-laitetta ei ole luokiteltu,

laitteen oletetaan kuluttavan enimmillään 12,95 wattia, mikä on IEEE802.3af-standardin maksimi tehonsyöttö. (9.)

Vuonna 2009 IEEE802.3af-standardin korvasi IEEE802.3at-standardi. Uudesta standardista käytetään myös nimeä PoE+ (Power over Ethernet Plus). Uusi standardi on yhteensopiva IEEE802.3af-standardia tukevien laitteiden kanssa. Uudessa standardissa kaapelivaatimuksena on vähintään kategoria 5:n Ethernet-kaapeli, mutta kategoria 3:n kaapeleita voidaan käyttää vähän tehoa vaativien laitteiden kanssa. IEEE802.3at-standardissa käytännössä toteutuva maksimiteho on nostettu aiemmasta 12,95 watista 25,5 wattiin jännitteen ollessa 44-57 voltia. (4, 93.)

5 YLEISÄÄNENTOISTOJÄRJESTELMÄT

Yleisäänentoistojärjestelmiä käytetään julkisissa tiloissa ääniohjelmien ja kuulutusten välittämiseen. Tavallisesti yleisäänentoistojärjestelmiä käytetään julkisissa tiloissa, kuten kouluissa, kauppakeskuksissa ja rautatie- ja lentoasemilla, joissa halutaan lisätä kävijöiden viihtyvyyttä taustamusiikilla, välittää äänimainoksia tai parantaa turvallisuutta. Ennen äänijärjestelmän varsinaista suunnittelua tulee selvittää miksi ja minkä tasoista äänijärjestelmää kohteeseen ollaan suunnittelemassa ja onko sähköinen äänenvahvistus ylipäättään tarpeellinen. Yleisäänentoistojärjestelmä koostuu ohjelmalähteistä, esivahvistimista, miksereistä, äänen muokkauslaitteista, tehovahvistimista, kuulutusreleistyksistä, voimakkuussäätimistä, ohjelmanvalitsimista sekä kaiutinverkosta kaapeleineen ja kaiuttimineen. Lisäksi yleisäänentoistojärjestelmän rakentamiseen kuuluu kohteen sähkötyöt, akustinen suunnittelu, asennustyöt, säädöt, koulutus ja dokumentointi. Suurien tilojen äänentoistojärjestelmiä suunniteltaessa tulisi kaikkien osapuolien: arkkitehdin, akustikon, järjestelmäsuunnittelijan ja rakennuttajan olla mukana alusta alkaen. (10, 25 – 27.)

Yleisäänentoistojärjestelmän tärkeimpiä vaatimuksia on puheen ymmärrettävyys. Nykyiset digitaalisesti toteutetut äänen tallennus- ja siirtoketjut vahvistimineen ovat lähes häiriöttömiä, mutta analogisesti toimivat mikrofonit ja kaiuttimet muokkaavat ja värittävät ääntä hyvinkin paljon. Lisäksi huonetilojen puutteellinen akustiikka tuottaa usein vaikeuksia varsinkin puheviestien ymmärrettävyyden saavuttamisessa. Äänentoistojärjestelmän suunnittelussa tulisikin laitteiston laatukriteerit kohdistaa entistä voimakkaammin kaiutinverkon ja akustiikan suuntaan. (10, 25 – 26.)

Kaiuttimen valinta on äänen toistoon tarkoitetun järjestelmän toteutuksessa tärkeimmässä asemassa lopputuloksen onnistumisen kannalta. Ihanteellinen kaiutin kuulutusjärjestelmiin on ominaisuuksiltaan fyysisesti pieni, hyötysuhteeltaan erinomainen eli kaiuttimen kyky muuttaa sähkötehoa äänitehoksi on hyvä, siinä on portaattomasti säädettävä säteilykulma, täydellinen suuntaavuus ja kaiuttimen ominaisuudet pysyvät samana kaikilla taajuuksilla. Kun äänijärjestelmän avulla on tarkoitus suorittaa äänen vahvistusta mikrofoneja käyttäen tai kun ääntä tarvitaan paljon ovat torvikuormitetut kaiuttimet hyvä valinta niiden hyvän hyötysuhteen, suuntaavuuden, herkkyuden ja hallitun säteilykuvion ansiosta. (10, 109 – 110, 115 – 116.)

Kuulutus- ja taustamusiikkikäyttöön tarkoitetut kaiuttimet ovat yleensä linjamuuntajalla varustettuja pienikokoisia uppo- tai pinta-asennettavia kaiuttimia. Kaiuttimissa käytetään yleensä 100 – 200 mm:n kartiokaiutinkomponentteja. Laadukkaammat kaiuttimet ovat varustettu koaksiaalisesti asennetulla ja yksinkertaisella jakosuotimella varustetulla erillisellä diskanttikaiutinkomponentilla. (10, 134.)

Onnistuneen kuulutusjärjestelmän toteutuksen perusta on hyvä kaiutin. Kaiuttimen tulisi koostua 150 mm:n kartiokaiutinkomponentista, jossa on koaksiaalisesti asennettu erillinen diskanttikaiutinkomponentti. Kaiuttimeen tulee kuulua oma hyvin vaimennettu kotelo. Ainoastaan koteloa käyttämällä saadaan hyvä pienten taajuuksien toisto ja sijoituspaikasta riippumaton sointiväri. Umpilevykatot ja levyseinät ovat poikkeuksia, joissa voidaan käyttää kaiuttimia ilman takakotelo, koska asennuspaikka tarjoaa luonnollisen ”infinite baffel” –kotelon. (10, 135.)

Huoneen äänenlaatu riippuu sekä äänentoistojärjestelmän ominaisuuksista että huoneen akustisista ominaisuuksista. Äänenlaatuun liittyvissä ongelmissa on usein vaikea päätellä, johtuvatko ongelmat äänentoistojärjestelmästä vai jostain huoneakustisesta ilmiöstä. Huoneakustiikan aiheuttamat ongelmat voidaan selvittää etukäteen oikealla mittauskalustolla. Usein ongelmat johtuvat arkkitehtonisesta ratkaisusta, joka ei salli kaiuttimen olla näkyvillä. Myös liian kaikuva huone voi vähentää äänentoistojärjestelmän toimintamahdollisuuksia. (10, 167.)

Kaiuttimen sijoituskorkeus on riippuvainen huoneen akustisista olosuhteista tai puheenymmärrettävyysvaatimuksista. Usein kaiuttimet joudutaan sijoittamaan katon ylänurkkaan, tämä kuitenkin lisää kaiuttimen äänenvoimakkuutta bassalueella, koska sama ääniteho säteilee pienemmän pinnan kautta. Tämäntyypinen kaiuttimen sijoitus

aiheuttaa yleensä myös sen, että osa äänestä heijastuu sekä seinä- että kattopinnasta. Nämä heijastukset aiheuttavat kampasuodinilmiön, mikä taas huonontaa äänenlaatua. Ilmiö esiintyy myös, jos kaiuttimet ovat lähellä kattopintaa, mutta eivät nurkassa. Ongelmaa pysytään korjaamaan taajuuskorjaimella, mutta sitä ei kokonaan voida poistaa. Ongelmaa pystytään pienentämään myös asentamalla heijastusten tulopintaan vaimentavaa materiaalia ja kääntämällä kaiuttimet ylösalaisin. Ongelmat poistuvat kokonaan vasta kun kaiuttimen lähellä ei ole kovia pintoja tai kaiuttimet on upotettu seinään. Yleisesti puheentoisto toimii parhaiten, jos tilassa on vain yksi lähdepiste eli ns. keskiklusteri. Tilassa on siis suositeltavaa yrittää tulla toimeen yhdellä kaiuttimella mikäli mahdollista, sillä se on helpompi saada toimimaan. (10, 169.)

6 KUULUTUSJÄRJESTELMÄN OHJELMISTOT JA LAITTEET

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa toimiva IP-pohjainen kuulumusjärjestelmä. Työlle asetettiin vaatimukseksi IP-puhelimen liittäminen osaksi järjestelmää. Puhelin toimisi järjestelmässä tiedottajan roolissa. IP-puhelimien liittäminen osaksi kuulumusjärjestelmää mahdollistaisi järjestelmään myös kaksisuuntaisen puheyhteyden. Näin puhelimia järjestelmään liittämällä kuulumuksia voisi tehdä eri paikoista ja lisäksi tämä mahdollistaisi hätätapauksissa kommunikoinnin esimerkiksi loukuun jääneiden ihmisten kanssa

IP-pohjaisen kuulumusjärjestelmän toteuttamiseen käytettiin ilmaista trixbox CE -puhelinohjelmistoalustaa huolehtimaan ääniliikenteen ohjauksesta tiedotuspisteen ja kaiuttimien välillä ja toimimaan järjestelmän digitaalisena puhelinkeskuksena. Kuulumusjärjestelmän laitteiksi valittiin Barix Annunicom 200 -kuulumusyksiköt, Cisco 7960G IP-puhelin ja Cisco Catalyst 3560 -sarjan kytkin. Kuulumusjärjestelmän kuulumusyksiköiden sekä puhelimen tuli tukea SIP-protokollaa ja kytkimessä täytyi olla PoE-tuki. Lisäksi työssä tarvitaan kaiuttimet jokaiselle Barix-kuulumusyksikölle.

6.1 Trixbox CE -puhelinohjelmistoalusta

Trixbox CE:n (Community Edition) kehitystyö alkoi vuonna 2004, tarkoituksena luoda ilmainen ja helppokäyttöinen puhelinohjelmistoalusta koti- ja pienyrityskäyttöön. Trixbox sisältää useita avoimeen lähdekoodiin perustuvia puhelintyökaluja, jotka on kasattu yhdeksi helposti asennettavaksi ISO-tiedostoksi, jolla puhelinkeskuksen toteuttaminen onnistuu helposti. Trixboxin toiminta perustuu LAAMP (Linux, Apache,

Asterisk, mySQL, PHP) -rakenteeseen, jossa käyttöjärjestelmänä toimii Linux CentOS. HTTP-palvelimena toimii Apachen HTTP-palvelin, puhelintoiminnot on toteutettu Asterisk-puhelinohjelmistolla, tietokannat mySQL:n avulla ja graafisena käyttöliittymänä toimii PHP:llä toteutettu FreePBX. (11, 21 – 22.) (12.)

Trixbox CE pystyy käsittelemään ja hallinnoimaan IP-verkon ylitse kulkevia VoIP-yhteyksiä sekä perinteisen puhelinverkon puhelinyhteyksiä. Trixbox tarjoaa useita palveluun liittyviä palveluita, kuten puhelinvastaaja, ryhmä- ja videopuheluita, jonotusta, faksia, soitonsiirtoa, kuulutusta ja monia muita oleellisia puhelinpalveluita.

Trixboxista on saatavilla myös kaupallinen pro-versio, joka sisältää enemmän ominaisuuksia ja on suunnattu suurempien puhelinjärjestelmien ylläpitoon. (11, 17 – 18.)

(12.)

6.2 Barix Annunicom 200 -kuulutusyksikkö

Barix Annunicom 200 -kuulutusyksikkö siirtää ääntä, musiikkia, esinauhoitettuja viestejä, hälytysviestejä ja sarjamuotoista dataa IP-verkon yli. Laitteessa on ohjelmallisesti säädettävät ääniliitännät mikrofoniin, ulkoiselle kaiuttimelle 8 watin vahvistimella, äänen linjatasoiselle ulostulolle ja sisäänmenolle, RS-232/485-liitäntä tiedonsiirtoon, usb-liitäntä sekä 100 megabitin RJ45-verkkoliitäntä. Lisäksi laitteessa on kaksi kontaktituloa esimerkiksi soittopainikkeelle ja yksi relelähtö ovisummerille tai sähköiselle ovilukolle. Annunicom 200 laitteeseen voidaan liittää myös ulkoinen Aiphonen valmistama ovipuhelin. (13.)

Barix Annunicom 200 tukee MP3-, G.711- ja PCM-tasoista ääntä, TCP/IP-, UDP-, RTP-, SIP-, DHCP- ja SNMP-protokollia sekä IEEE802.3af-standardin mukaista PoE-virransyöttöä. Laitteessa on myös IPzator- ja AutoIP-toiminto, joiden avulla se osaa etsiä verkosta vapaan IP-osoitteen ja ottaa sen käyttöön, sekä SonicIP-toiminto, joka ilmoittaa laitteen käynnistyksen yhteydessä sen IP-osoitteen laitteeseen kytketyn kaiuttimen kautta. Annunicom 200 sisältää verkkopalvelimen laitteen hallintaa ja konfigurointia varten. (13.)

Yksikköä käytetään tyypillisesti julkisten tilojen, asuntojen ja sisäänkäyntien valvontaan etänä tai paikallisesti. Annunicom 200 -yksikkö voi toimia esimerkiksi ovipuhelimenä, johon voidaan yhdistää oven lukituksen hallinta, sisäpuhelinena, kuulutus-, äänentoisto-, hätäpuhelu- ja hälytysjärjestelmänä ja ääninauhurina. Annunicom 200 -

yksikköön voidaan vapaasti kehittää ja muokata uusia ohjelmistoja, jotka mahdollistavat laitteen monipuoliset ominaisuudet ja käyttötavat. Annunicom 200 -yksikkö voi toimia itsenäisenä laitteistona, osana Barix tuoteperheen kokoonpanoa sekä yhdessä kolmansien osapuolien järjestelmien, kuten ohjelmistojen, tietokoneiden ja SIP-puhelinjärjestelmien kanssa. (13.)



Kuva 3. Barix Annunicom 200 (13.)

6.3 Cisco 7960G IP-puhelin

Ciscon IP-puhelimet ovat standardeihin perustuvia tietoliikennelaitteita. Niitä voidaan käyttää IP-puhelinjärjestelmissä, jotka pohjautuvat Cisco Call Manager -teknologiaan, H.323- tai SIP-protokollaan. (14.)

Ciscon 7960G IP-puhelin tukee Power over Ethernet -virransyöttöä, jolloin erillistä ulkoista virtalähdettä ei tarvita. Puhelimessa on tuki kuudelle linjalle ja jokainen linja tukee useita puheluita. Riippumatta linjojen määrästä, puhelin tukee enintään 200 puhelua kerrallaan. Puhelimessa on integroitu kaiutin, monirivinen mustavalkonäyttö ja kaksiporttinen Ethernet-kytkin. Puhelimella on myös mahdollista käyttää erityisiä web-pohjaisia palveluja. Puhelimen toimintoihin kuuluu soittajan tunnistus, numeroiden lyhytvalinta, neuvottelupuhelut, äänipostin käyttömahdollisuus, puhelun siirto, puhelun pito ja kuusi ohjelmoitavaa painiketta linjoja, toimintoja, lyhytvalintanumeroita ja palveluja varten. Puhelimen toimintoja voi mukauttaa web-selaimen kautta. (14.)

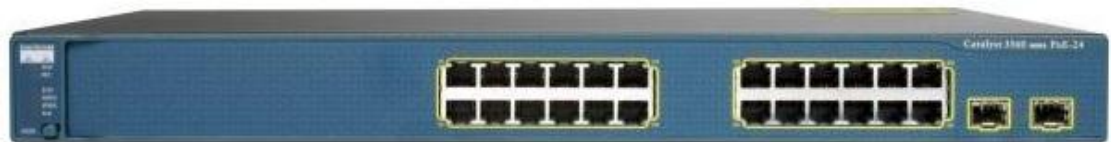


Kuva 4. Cisco 7960G IP-puhelin (14.)

6.4 Cisco Catalyst 3560 –kytkin

Cisco Catalyst 3560 -sarjan kytkimet ovat keskisuurten ja suurten yritysten lähiverkoihin tarkoitettu kiinteän kokoonpanon tason 2 ja 3 -kytkinsarja, jossa on sekä gigabitin Ethernet- että 10 gigabitin Ethernet-liitettävyyttä. Sarjan kytkimissä on jopa 48 kappaletta 10/100/1000 –Ethernet porttia sekä kaksi 10 gigabitin Ethernet-porttia. Kytkimet takaavat korkean käytettävyyden, hyvät tietoturvaominaisuudet ja soveltuvat erityisesti langattomien verkkojen sekä IP-puhe ja –viestintäratkaisujen perustaksi. (15.)

3560-sarjan kytkimet tukevat IEEE 802.3af-standardin mukaista Power over Ethernet –virransyöttöä, pystyen siirtämään yhtä aikaa dataa ja virtaa ethernet-kaapelia pitkin päätelaitteille. Kytkinsarjan muihin ominaisuuksiin kuuluu myös tuki tason 3 ja 4 –äläpalveluille, dynaaminen IP-reititys, DHCP- ja IPv6-tuki ja virransyötön varmistus. Kytkimet ovat graafisesti hallittavissa Cisco Network Assistant -työkalulla. (15.)



Kuva 5. Cisco Catalyst 3560-kytkin. (15.)

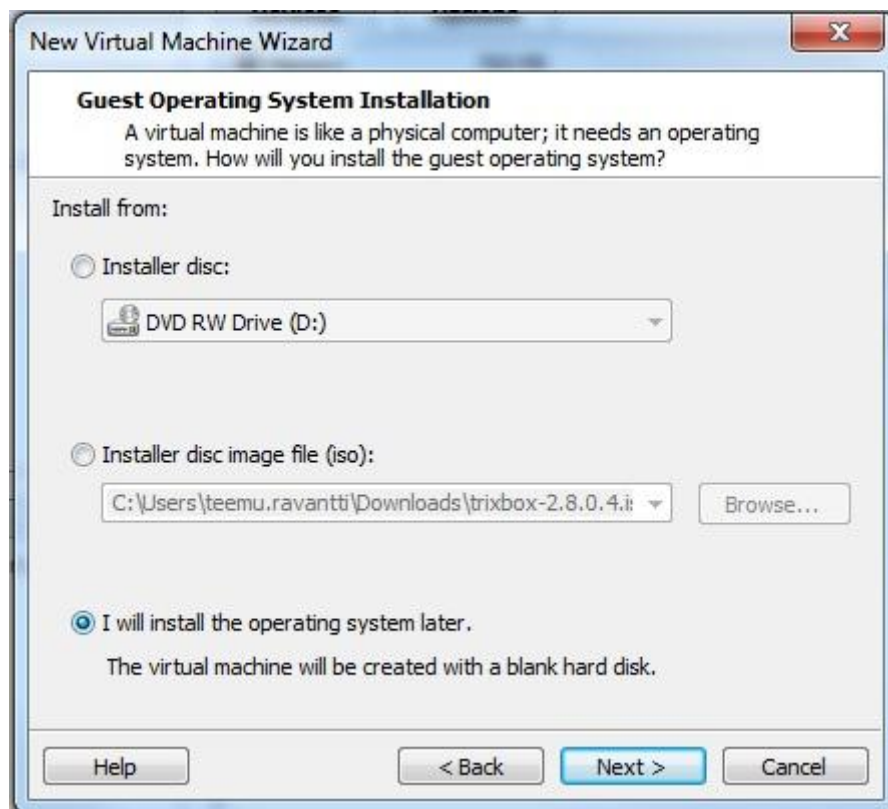
7 KUULUTUSJÄRJESTELMÄN TOTEUTUS

Kuulutusjärjestelmästä rakennettiin testijärjestelmä Metsolan toimipisteen tietoliikennelaboratorioon. Järjestelmä koostui kahdesta Barix Annunicom 200 -kuulutusyksiköstä kaiuttimineen. Kuulutusyksiköt sijaitsivat huoneissa BK0131 ja

BK0136. Lisäksi järjestelmään kuului Cisco 7960G IP-puhelin, joka toimi järjestelmässä tiedottajan roolissa. Järjestelmässä puhelinohjelmistoalustana toimi trixbox CE, joka asennettiin tietoliikennelaboratorion tietokoneelle virtuaalikoneeksi.

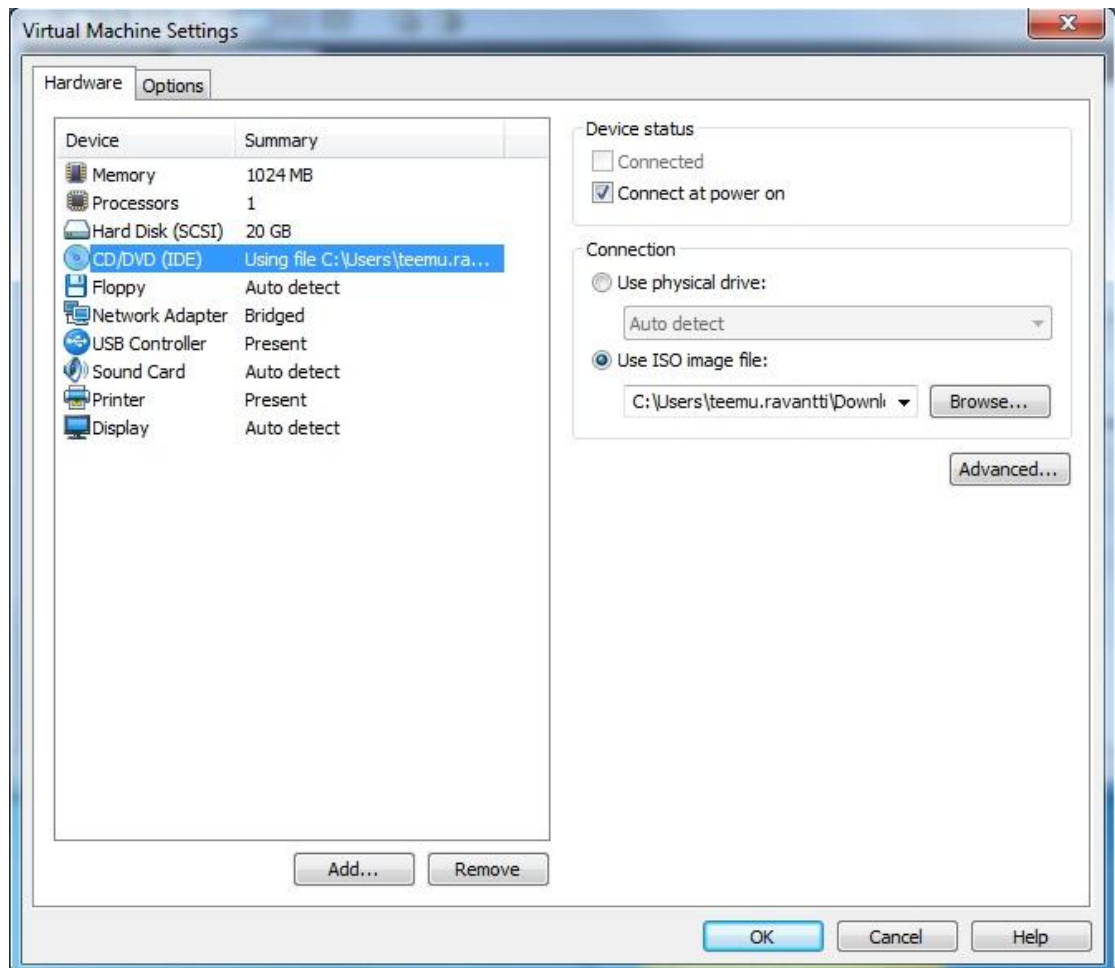
7.1 Trixbox CE -puhelinohjelmistoalustan asennus

Kuulutusjärjestelmän toteuttaminen aloitettiin lataamalla trixbox CE -ohjelmisto osoitteesta <http://fonality.com/trixbox/downloads> ja asentamalla se tietoliikennelaboratorion työasemalle virtuaalikoneeksi käyttäen VMware Workstation -ohjelmaa. Mikäli VMware Workstation -ohjelmassa on käytössä Easy Install- toiminto, täytyy toiminto ohittaa, jotta trixbox asentuu oikein. VMwaren Easy Install -toimintoa ei voi kytkeä pois päältä, mutta sen voi ohittaa valitsemalla uuden virtuaalikoneen luomisen yhteydessä ”I will install the operating system later” -vaihtoehdon. Tämän jälkeen käyttöjärjestelmäksi valitaan Linux ja versioksi CentOS.



Kuva 6. Trixbox-virtuaalikoneen luominen

Virtuaalikoneen luomisen jälkeen siirrytään trixbox-virtuaalikoneen asetuksiin valitsemalla VM-valikosta Settings ja sieltä CD/DVD (IDE), josta valitaan Connection kohdasta ”Use ISO image file:”. Tähän etsitään koneen kovalevylle ladattu trixboxin asennustiedosto. Asetuksista vaihdettiin myös Network Adapter kohtaan Bridged.

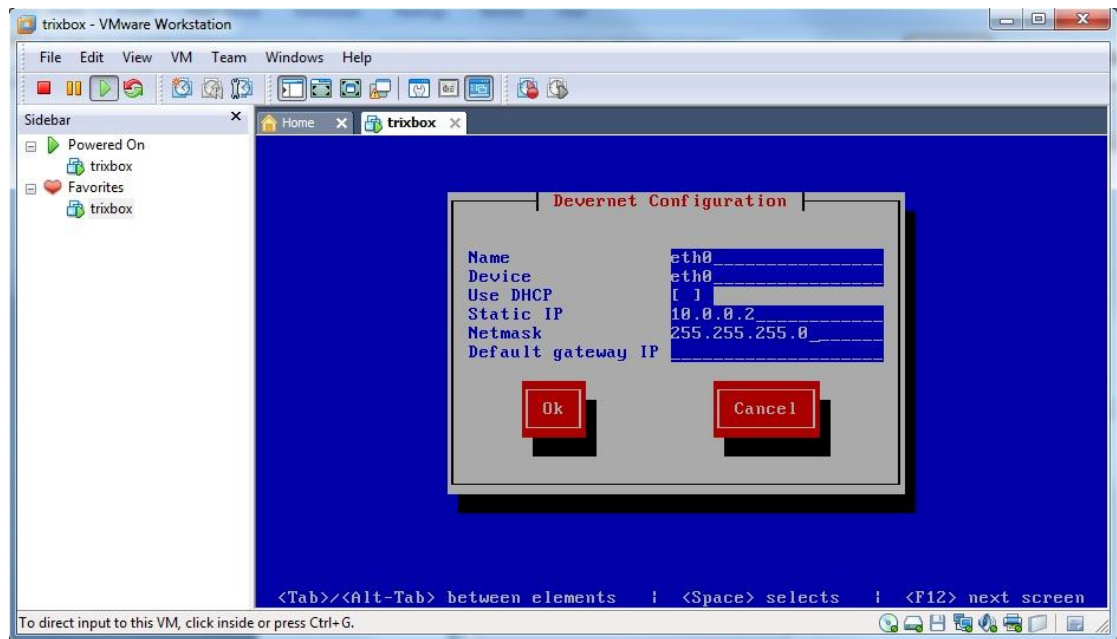


Kuva 7. Trixbox-virtuaalikoneen asetukset

Tämän jälkeen virtuaalikone käynnistetään, jolloin asennus alkaa. Asennuksen valmistuttua trixbox käynnistyy ja siihen kirjaudutaan sisään käyttäjänimellä root ja asennuksen aikana annetulla salasanalla.

7.2 Trixbox CE:n konfigurointi

Seuraavaksi trixboxille asetetaan verkkoasetukset komentorivillä komennolla **system-config-network**. Kuulutusjärjestelmän verkkona käytettiin 10.0.0.0/24 -verkkoa ja trixboxin osoitteeksi määritettiin 10.0.0.2. Verkkoasetusten muuttamisen jälkeen trixbox käynnistetään uudelleen komennolla **service network restart** ja liitetään tietoliikennelaboratorion Cisco Catalyst 3560 PoE -kytkimeen.



Kuva 8. Trixboxin verkkoasetukset

Tämän jälkeen trixboxiin luodaan tarvittavat liittymät kuulutusyksiköille ja tiedotuspisteelle. Tätä tarkoitusta varten trixboxin kanssa samaan verkkoon liitettiin yksi työasema, jolle määritettiin IP-osoite 10.0.0.5. Liittymien luonti tapahtuu ottamalla työaseman verkkoselaimella yhteys trixboxin graafiseen käyttöliittymään osoitteessa 10.0.0.2. Käyttöliittymään kirjaudutaan järjestelmänvalvojaksi painamalla oikeassa yläkulmassa olevaa switch-linkkiä ja syöttämällä käyttäjänimeksi maint ja salasanaksi password. Tämän jälkeen siirrytään ohjelmiston puhelinvaihteen asetuksiin (PBX Settings). Kuulutusjärjestelmän kuulutusyksiköille ja tiedotuspisteelle luodaan SIP-protokollaa tukevat VoIP-liittymät puhelinvaihteen asetuksien Extensions-kohdan kautta. Kuvasta 9 näkyy luokan BK0131 -liittymän luonti puhelinnumerolla 131.

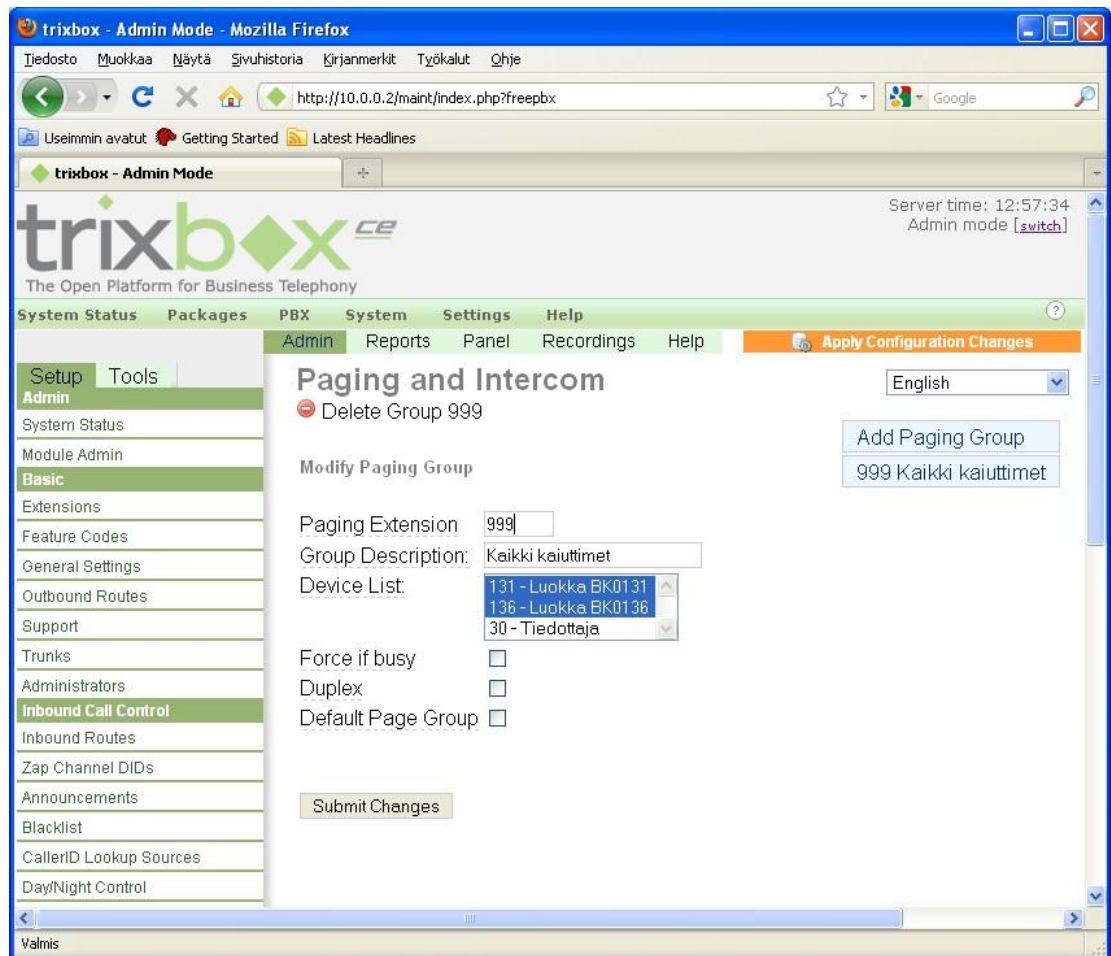
Kuva 9. Luokkaan BK0131 tulevan Barix-kuulutusyksikön liittymän luominen

Taulukko 1. Tärkeimpien kenttien selitykset

Kenttä:	Selitys:
User Extension	Liittymän puhelinnumero (131)
Display Name	Liittymän kuvaus (Luokka BK0131)
Secret	Liittymän salasana (131131)

Lisäksi kuulutusjärjestelmässä tiedottajana toimivaa Cisco 7960G IP-puhelinta varten luotavaan liittymään tarvitsee valita NAT = NO.

Trixbox mahdollistaa myös kuulutusryhmien luomisen, jolloin esimerkiksi tiettyyn numeroon soittamalla saadaan yhteys järjestelmän jokaiseen päätelaitteeseen. Kuulutusryhmät luodaan puhelinvaihteen kuulutusasetuksista Paging and Intercom-kohdasta. Kuulutusryhmälle määritetään puhelinnumero, ryhmän kuvaus sekä valitaan kuulutusryhmään liitettäväksi halutut liittymät. Kuvasta 10 näkyy kuulutusryhmän luominen numerolla 999, joka muodostaa yhteyden molempiin Barix-kuulutusyksiköihin.



Kuva 10. Kuulutusryhmän luominen

Taulukko 2. Tärkeimpien kenttien selitykset

Kenttä:	Selitys:
Paging Extension	Kuulutusryhmän puhelinnumero (999)
Group Description	Kuulutusryhmän kuvaus (Kaikki kaiuttimet)
Device List	Valitaan kuulutusryhmään halutut liittymät

Kun tarvittavat liittymät ja kuulutusryhmät on luotu, painetaan yläkulmassa oranssilla taustalla näkyvää Apply Configuration Changes -painiketta.

7.3 Barix Annunicom 200 –kuulutusyksiköiden lisääminen järjestelmään

Seuraavaksi kuulusjärjestelmään lisätään Barix Annunicom 200 -kuulutusyksiköt. Kuulutusyksiköiden asentaminen kuulusjärjestelmään aloitetaan liittämällä kaiuttimet kuulutusyksiköiden ulkoiseen kaiutinliitäntään ja tämän jälkeen liittämällä kuulutusyksiköt Cisco Catalyst 3560 PoE -kytkimeen. Kuulutusyksiköt ottavat käyttöönsä IP-osoitteen 10.0.0.0/24 -verkosta AutoIP-toiminnon avulla ja käynnistyessään ilmoittavat osoitteen kaiuttimien kautta SonicIP-toiminnon avulla. Kuulutusyksiköt konfiguroidaan laitteen sisäisen verkkopalvelimen kautta, joka on tavoitettavissa laitteen ilmoittamasta IP-osoitteesta. Kuulutusyksiköiden verkkopalvelimiin otetaan yhteys verkkoon liitetyn työaseman verkkoselaimella.

Kuulutusyksiköiden konfigurointi aloitetaan päivittämällä laitteeseen SIP-yhteensopiva ohjelmisto, joka tekee laitteesta VoIP-järjestelmien kanssa yhteensopivan. Laitteen päivittämistä varten Barixin verkkosivuilta <http://www.barix.com/downloads/> ladataan SIP-ohjelmisto, joka asennetaan laitteen verkkopalvelimen Update -kohdan kautta. Päivitykseen tarvittava tiedosto on compound.bin ja se löytyy ladatun SIP-ohjelmiston update_rescue -kansioista. Päivityksen jälkeen verkkopalvelin käynnistetään uudelleen.

Ohjelmiston päivityksen jälkeen kuulutusyksiköille määritetään halutut verkkoasetukset verkkopalvelimen Configuration valikosta valitsemalla Advanced Settings. Luokassa BK0131 sijaitsevalle laitteelle määritettiin IP-osoitteeksi 10.0.0.131/24 ja luokassa BK0136 sijaitsevalle laitteelle 10.0.0.136/24. Lisäksi kuulutusyksiköiden äänenvoimakkuus nostettiin 100 %:iin laitteiden ääniasetuksista (Audio) parhaimman äänentoiston saavuttamiseksi.

Barix SIP Client - Mozilla Firefox

HOME PROFILES CONFIGURATION STATUS DEFAULTS UPDATE REBOOT Annunicom 200 MAC: 00:08:E1:00:F5:D3 FW VA0.36

SIP CLIENT

SIP Phone

Basic Settings
Advanced Settings
 Network
 SIP Protocol
 Outbound Calls
 Inbound Calls
 Audio
 Control Interfaces
 Security

Apply Cancel

NETWORK SETTINGS

Use SonicIP® ☒ Yes ☐ No

IP Address 10 . 0 . 0 . 131

Netmask 255 . 255 . 255 . 0

Gateway IP Address 10 . 0 . 0 . 1

Primary DNS 0 . 0 . 0 . 0

Alternative DNS 0 . 0 . 0 . 0

Syslog Address 0 . 0 . 0 . 0

DHCP Host Name

Web Server Port 80

SNMP System Name

SNMP System Location

SNMP System Contact

Help

NETWORK SETTINGS

Use SonicIP
 If set to "yes", the device will announce its IP address over the audio output during device startup.
 Default: "yes"

IP Address
 Enter the 4 values of the desired device IP address e.g.:
 "0.0.0.0" for automatic discovery (DHCP/BOOTP, IPzator, AutolP)
 "192.168.0.12" for an internal LAN
 Default: "0.0.0.0"

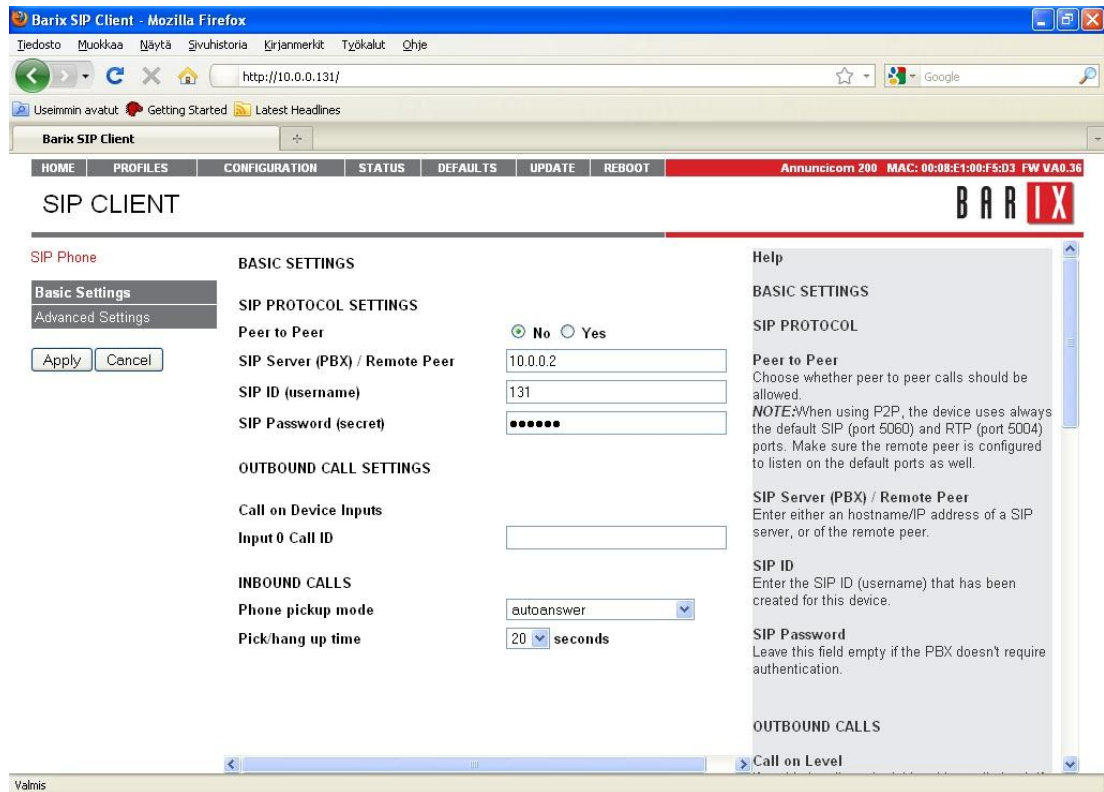
Netmask
 Enter the 4 values of the desired Static IP e.g.:
 "0.0.0.0" for a default Netmask depending on the used IP Address.
 "255.255.255.0" for a C class network
 Default: "255.255.255.0"

Gateway IP Address
 Enter the 4 values of the desired Gateway IP address e.g.:
 "0.0.0.0" for no Gateway
 "192.168.0.1" for a Gateway in a LAN
 Note: The Gateway has to be set only when

Valmis

Kuva 11. Barix-verkkoasetukset

Seuraavaksi laitteille määritellään SIP-asetukset Configuration valikon Basic Settings kohdan kautta. SIP-asetuksissa kuulutusyksiköille määritellään reitti trixboxin puhelinkeskukseen ja aiemmin trixboxiin luodut SIP-tilit, siten että 10.0.0.131 -osoitteen laite saa puhelinnumeroksi 131 salasanalla 131131 ja vastaavasti 10.0.0.136 -osoitteen laite saa puhelinnumeroksi 136 salasanalla 136136. Lisäksi laitteet määriteltiin automaattivastaustilaan.



Kuva 12. Barix SIP-asetukset liittymälle 131

Taulukko 3. Tärkeimpien kenttien selitykset

Kenttä:	Selitys:
SIP Server (PBX) / Remote Peer	Trixbox palvelimen osoite (10.0.0.2)
SIP ID (username)	Trixboxissa laitteelle luotu liittymä (131)
SIP Password (secret)	Liittymän salasana (131131)
Phone pickup mode	Puheluihin vastataan automaattisesti (autoanswer)

Asetusten jälkeen kuulumusyksiköt toimivat osana VoIP-tekniikkaan perustuvaa kuulumusjärjestelmää.

7.4 Cisco 7960G IP-puhelimen lisääminen järjestelmään

Seuraavaksi kuulumusjärjestelmään liitetään Ciscon 7960G IP-puhelin toimimaan järjestelmän tiedottajana. Asennus aloitetaan kirjoittamalla trixboxin komentoriville setup-cisco. Komento luo trixbox koneen /tftpboot -kansioon SIPDefault.cnf tiedoston. Seuraavaksi siirrytään trixboxin graafiseen käyttöliittymään, josta valitaan PBX-välilehdestä Endpoint Manager, jonka kautta järjestelmään lisätään Ciscon IP-puhelin

tiedottajaksi. Tämä luo trixbox koneen /tftpboot -kansioon SIP000A8A675219.cnf tiedoston. Tiedoston lopun täytyy olla sama kuin käytettävän puhelimen MAC-osoite.

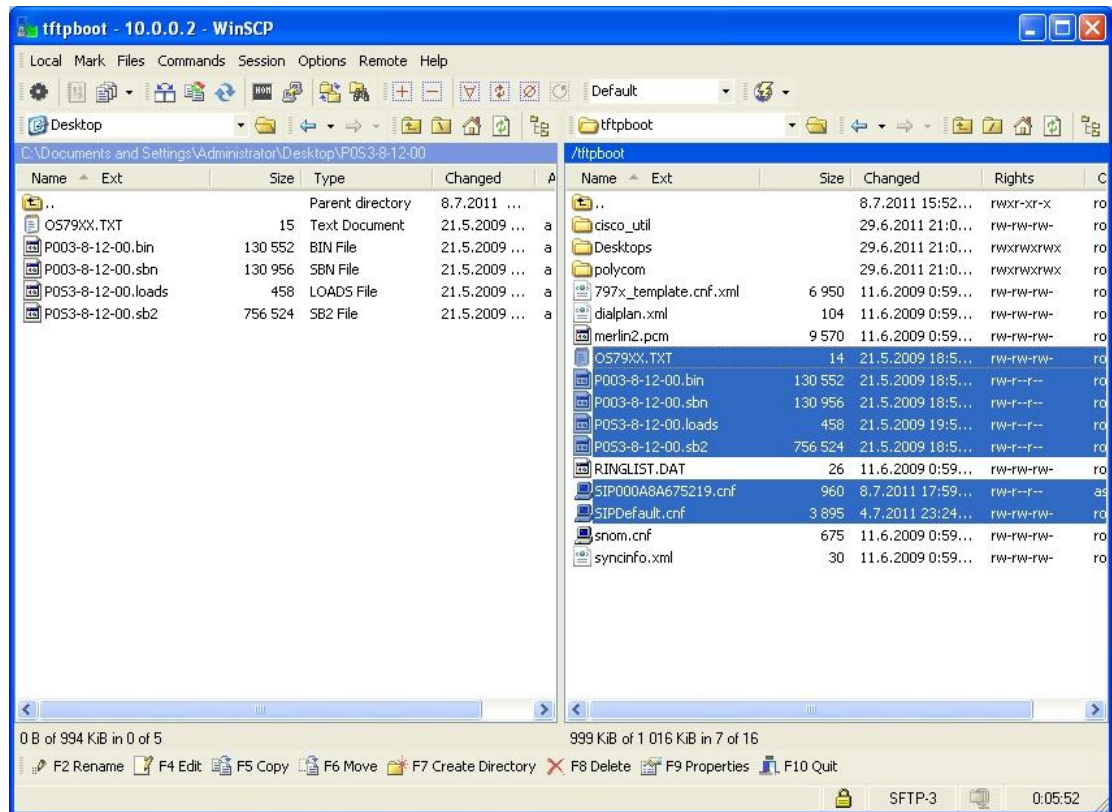
The screenshot shows the trixbox CE web interface. At the top, there's a header with the trixbox logo and 'CE' version. Below it, a navigation menu includes 'System Status', 'Packages', 'PBX', 'System', 'Settings', and 'Help'. The main content area is titled 'Edit Cisco Phone' and contains a form with the following fields: 'Toggle Advanced' (checkbox), 'Device ID (extension):' (dropdown menu showing '30 (Tiedottaja)'), 'Phone Type:' (dropdown menu showing '7960'), and 'MAC Address:' (text input field showing '000A8A675219'). There is a 'Submit' button at the bottom of the form. The footer of the interface shows 'v2.8.0.4 ©2008 Fonality, inc All Rights Reserved.'

Kuva 13. Cisco 7960G IP-puhelimen lisääminen tiedottajaksi

Taulukko 4. Tärkeimpien kenttien selitykset

Kenttä:	Selitys:
Device ID (extension)	Valitaan puhelimelle haluttu liittymä (30 Tiedottaja)
Phone Type	Valitaan puhelimen malli (7960)
MAC Address	Puhelimen MAC-osoite, joka löytyy puhelimen pohjassa olevasta tarrasta (000A8A675219)

Jotta puhelin saataisiin toimimaan osana kuulumusjärjestelmää, tarvitsee puhelimeen asentaa SIP-ohjelmisto, joka on saatavilla Ciscon kotisivuilta. Puhelimen ohjelmiston päivitys aloitetaan siirtämällä SIP-ohjelmiston tiedostot trixboxin /tftpboot kansioon ottamalla FTP-ohjelmalla, kuten esimerkiksi WinSCP:llä, yhteys trixbox -koneeseen osoitteessa 10.0.0.2. Tämän jälkeen hakemiston käyttöoikeudet muutetaan syöttämällä trixboxin komentoriville käsky `chmod -R 777 /tftpboot`. Kuvasta 14 näkyy /tftpboot kansion sisältämät tiedostot, joista tärkeimmät valittuina.



Kuva 14. /tftpboot kansion sisältö

Seuraavaksi avataan OS79XX.txt tiedosto, joka sisältää ainoastaan SIP-ohjelmiston versionumeron POS3-8-12-00. Rivi kopioidaan välimuistiin ja avataan tiedosto SIPDefault.cnf. Tiedoston alun pitäisi näyttää seuraavalta:

Image Version

image_version: "POS3-07-5-00"

Jotta puhelimen ohjelmiston päivitys onnistuisi, täytyy tiedostosta löytyvä ohjelmiston versionumero vaihtaa OS79XX.txt tiedoston sisältämään versionumeroon POS3-8-12-00. Sama versionumeron muutos täytyy tehdä myös cisco_util kansista löytyville xmlDefault.CNF.XML ja XMLDefault.cnf.xml tiedostoille. Molemmista tiedostoista löytyy seuraava rivi:

```
<loadInformation7 model="IP Phone 7960">P003-07-4-00</loadInformation7>
```

Vanhan versionumeron tilalle korvataan OS79XX.txt tiedostosta löytyvä versionumero POS3-8-12-00.

Tämän jälkeen Cisco 7960G IP-puhelin liitetään Cisco Catalyst 3560 PoE -kytkimeen, jolloin puhelimen ohjelmisto päivittyy SIP-protokollaa tukevaksi. Käynnistyessään puhelin ottaa automaattisesti vapaan IP-osoitteen 10.0.0.0 -verkosta ja rekisteröityy käyttämään sille luotua Tiedottaja -liittymää. Puhelimen IP-osoitteen vaihtaminen onnistuu puhelimen asetukset valikosta Network Configuration kohdan kautta. Valikkoon pääsee painamalla puhelimesta löytyvää Settings painiketta. Ennen verkkoasetusten muuttamista puhelimen lukitus täytyy avata asetukset valikon Unlock Config kohdan kautta salasanalla cisco.

8 YHTEENVETO

Työn tärkeimpänä päämääränä oli selvittää onko IP-puhelimen liittäminen osaksi kuulusjärjestelmää mahdollista. Työhön piti myös sisällyttää Metsolan toimipisteen tilojen kartoitus kuulusjärjestelmää varten, mutta tätä ei kyetty tekemään itsestäni riippumattomista syistä. Koska kartoitusta ei kyetty tekemään, päätimme sisällyttää työhön yleisesti kuulusjärjestelmän suunnittelussa huomioon otettavia asioita.

Opinnäytetyön tekeminen perehdytti minut Voice over IP –teknologiaan ja sen käyttämiin eri protokolliin sekä IP-pohjaisten kuulusjärjestelmien laitteisiin, ohjelmistoihin ja yleisiin toimintaperiaatteisiin. Lisäksi opin paljon myös IP-puhelimien erilaisista käyttötavoista ja niissä käytettävistä eri ohjelmistoista.

Opinnäytetyön perusteella voidaan todeta, että IP-puhelimen liittäminen osaksi kuulusjärjestelmää onnistuu ja näin kuuluspisteeseen ei tarvita omaa kallista kuuluskojetta. Puhelimen kautta tehdyissä kuulusuksissa äänenlaatu on myös riittävän hyvä kuulusuksen puheen ymmärrettävyyden kannalta.

Työ sujui hyvin muutamaa pientä ongelmaa lukuun ottamatta. Trixboxin asentaminen virtuaalikoneeksi tuotti hiukan ongelmia VMwaren Easy Install –toiminnon takia, jota ei voinut kytkeä pois päältä, mutta sen ohittaminen onnistui. Easy Install asensi ohjelmiston näennäisesti oikein, mutta jätti jostain syystä useita eri komponentteja asentamatta ja näin ollen ohjelma ei toiminut halutusti. Lisäksi ongelmia esiintyi sopivien kaiuttimien löytämisessä järjestelmään. Koululla olleet kaiuttimet olivat huonosti tai ei ollenkaan koteloituja ja niiden äänenvoimakkuus ei riittänyt kuuluskäyttöön. Varsinaisesti kuuluskäyttöön suunniteltuja suuntaavia torvikaiuttimia ei taas ollut varojen rajallisuuden vuoksi varaa hankkia. Ongelma ratkesi kuitenkin kotoa tuoduilla hyvin

koteloiduilla kaiuttimilla. Lisäksi kuulutusjärjestelmästä piti alun perin tehdä hiukan laajempi testijärjestelmä, mutta Barixin kuulutusyksiköiden 495 euron kappalehinta esti tämän.

Kuulutusjärjestelmää voisi kehittää lisäämällä järjestelmään enemmän IP-puhelimia, jolloin kuulutuksia voisi tehdä useammasta paikasta ja tietyissä tilanteissa puhelin voisi korvata osan kaiuttimista, esimerkiksi toimistoissa. Lisäksi kuulutusjärjestelmän voisi liittää yleiseen puhelinverkkoon, jolloin hätätapauksissa tiedottaja tai mahdollisesti loukkuun jääneet voisivat kommunikoida myös ulkomailman kanssa IP-puhelimien avulla. Järjestelmän liittäminen yleiseen puhelinverkkoon voisi mahdollistaa kuulutuksien tekemisen myös matkapuhelimen kautta. Tämä tietysti lisää ongelmia tietoturvan suhteen: miten pitää huoli, ettei kuka tahansa pystyisi tekemään kuulutuksia? Kuulutusjärjestelmään voisi myös ajastaa automaattisia kuulutuksia trixboxin kautta. Järjestelmän äänentoiston saattaminen riittävälle tasolle vaatii vielä erilaisten kaiuttimien testaamista, jotta suurien tilojen ja pitkien käytävienkin äänentoisto onnistuisi ilman useaa kaiutinta. Tähän tarkoitukseen torvikaiuttimet voisivat olla hyvä vaihtoehto tarkan äänensuuntaavuuden, hallitun säteilykuvion ja hyötysuhteensa ansiosta.

Työ oli mielenkiintoinen ja lopputulos onnistunut. Työ opetti minulle paljon ja sai minut kiinnostumaan VoIP-tekniikasta ja sen hyödyntämisestä kuulutusjärjestelmissä. Toivottavasti tulevaisuudessa työtehtävien kautta voisin vielä jatkaa VoIP-tekniikkaan tutustumista.

LÄHTEET

1. Casad, J. & Willsey, B. 1999. TCP/IP. Helsinki: IT Press
2. Davidson, J. & Peters, J. 2002. Voice over IP. Helsinki: Edita
3. Comer, D.E. 2002. TCP/IP. Helsinki IT Press
4. Saarelainen, K. 2011. IP-puhe Voice over IP. Helsinki: Readme.fi
5. Kaario, K. 2002. TCP/IP-verkot. Jyväskylä: Docendo
6. Kytölä, S. & Pohjolainen P. 2003. Voice over IP-projekti Tampereen kaupungille. Saatavissa:
<https://www.wpk.tpu.fi/Tutkinto/5%20tyot/Kyt%C3%B6l%C3%A4%20Pohjolainen/Voip.pdf> [Viitattu 26.5.2011]
7. Karila, A. 2005. Internet-puhelut (VoIP). Saatavissa:
http://www.lvm.fi/filesserver/Julkaisuja%2016_2005.pdf [Viitattu: 7.6.2011]
8. Jaakohuhta, H. 2005. Lähiverkot – Ethernet. Helsinki: Edita
9. Kärnä, M. 2004. Ethernetistä sähköä. Prosessori-lehden artikkeli 3/2004.
10. Haaranen, H. & Holm, J. & Joenpolvi, M. & Kuusisto, P. & Leskinen, M. & Läh-
teenmäki, U. & Paukku, P. & Ristilä, J. 2004. Äänentoistojärjestelmät. Espoo:
Sähköinfo
11. Dempster, B. & Garrison, K. 2006. TrixBos Made Easy. Birmingham: Packt Pub-
lishing. Saatavissa: <http://asterisk.ru/store/files/TrixbosMadeEasy.pdf> [Viitattu
14.6.2011]
12. VoIP-tietosivusto. 2006. Saatavissa: <http://www.voip-info.org/wiki/view/trixbox>
[Viitattu 14.6.2011]

13. Barix Annunicom 200 -esite. 2010. Saatavissa:

http://www.barix.com/downloads/file/Annunicom_200_Product_Sheet_V30_PDF/7151/31 [Viitattu: 15.6.2011]

14. Cisco IP-puhelin 7960G ja 7940G -esite. 2011. Saatavissa:

http://www.cisco.com/en/US/docs/voice_ip_comm/cuipph/7960g_7940g/4_1_3/finnish/user/guide/60fin413.pdf [Viitattu: 17.6.2011]

15. Cisco Catalyst-sarjan esite. 2011. Saatavissa:

http://www.ciscopaw.net/web/FI/solutions/smb/doc/cisco_catalyst_kytkimet.pdf [Viitattu 20.6.2011]